



TESIS DOCTORAL

RECONSTRUCCIÓN E IMPRESIÓN 3D DEL APARATO ESTOMATOGNÁTICO ÓSEO:

Aplicaciones docentes y médico-quirúrgicas

María Teresa Ugidos Lozano

Directores:

D. Juan Antonio Juanes Méndez

D. Fernando Blaya Haro

Salamanca 2020



PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO

PRESENTACIÓN DE TESIS DOCTORAL EN EL FORMATO DE COMPENDIO DE PUBLICACIONES

Según establece el **capítulo II del Reglamento de Doctorado de la Universidad de Salamanca**, sobre la elaboración y defensa de La Tesis Doctoral, en su **artículo 14.1.** indica que “los estudios de doctorado concluyen con la elaboración y defensa de una tesis doctoral la Comisión de Doctorado y Posgrado estableciendo como posible formato de presentación de Tesis Doctoral, la **modalidad de Tesis por Compendio de Artículos/Publicaciones**, publicados o aceptados en revistas especializadas, que sean el resultado de la actividad investigadora desarrollada por el doctorando.

Dicho reglamento establece que en el momento de la solicitud de depósito de la Tesis por compendio de artículos/publicaciones aportadas por el doctorando deberán cumplir los supuestos siguientes:

Un mínimo de tres artículos o capítulos publicados o aceptados para su publicación, con posterioridad al inicio de los estudios de doctorado, en revistas científicas del ámbito de la especialidad del trabajo desarrollado en la tesis e indexadas en el Science Citation Reports (o equivalente según la CNEAI en los campos científicos en los que dicho criterio no sea aplicable)

El doctorando deberá ser primer autor de al menos dos de las aportaciones presentadas. En el caso de que no sea primer autor, el doctorando especificará cuál ha sido su aportación científica a la publicación lo que deberá estar certificado por el director de la tesis doctoral.

Teniendo en consideración esta normativa, la doctoranda, que presenta este trabajo de Tesis Doctoral, cumple todos los requisitos indicados para la lectura y defensa mediante la modalidad de compendio de publicaciones que se adjuntan en el anexo final de este trabajo



D. JUAN ANTONIO JUANES MÉNDEZ, DOCTOR EN MEDICINA Y CIRUGÍA, PROFESOR DEL DEPARTAMENTO DE ANATOMÍA E HISTOLOGÍA HUMANAS DE LA UNIVERSIDAD DE SALAMANCA y **D. FERNANDO BLAYA HARO** DOCTOR EN MEDICINA Y CIRURGÍA, PROFESOR DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

CERTIFICAMOS:

Que el trabajo titulado "RECONSTRUCCIÓN E IMPRESIÓN 3D DEL APARTADO ESTOMATOGNÁTICO ÓSEO: Aplicaciones docentes y médico-quirúrgicas" ha sido realizado por. D^ª *María Teresa Ugidos Lozano*, bajo nuestra dirección; reuniendo, a nuestro juicio, los requisitos y méritos suficientes para que la autora de este pueda optar al Grado de Doctor por la Universidad de Salamanca.

Y para que así conste, firmamos la presente certificación en Salamanca a diez de junio de dos mil veinte.

Fdo.: Juan Antonio Juanes Méndez

Fdo.: Fernando Blaya Haro

MARIA TERESA UGIDOS



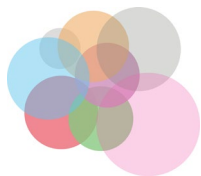


DECLARACIÓN DE AUDITORÍA

Declaro que he redactado el trabajo titulado: "RECONSTRUCCIÓN E IMPRESIÓN 3D DEL APARATO ESTOMATOGNÁTICO ÓSEO: Aplicaciones docentes y médico-quirúrgicas" para la obtención del Grado de Doctor por la Universidad de Salamanca. Ha sido realizado, de forma autónoma, con la ayuda de mis directores, siguiendo las directrices del artículo 14.1 en su capítulo II del Reglamento de Doctorado de la Universidad de Salamanca, sobre la elaboración y defensa de la Tesis Doctoral.

En Madrid, 10 de junio de dos mil veinte

Fdo.: María Teresa Ugidos Lozano



PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO

Agradecimientos

Quiero expresar mi más sincero reconocimiento a los Profesores. D. Juan Antonio Juanes Méndez y a D. Fernando Blaya Haro, por su aceptación en la dirección de esta Tesis Doctoral, seguimiento y las facilidades prestadas en todo el transcurso de este trabajo. Sin su gran esfuerzo y acierto en la ejecución de este proyecto de Tesis Doctoral este trabajo no hubiera sido posible

Especial mención y agradecimiento a al Departamento de Anatomía Humana de la Universidad de Salamanca y al Departamento de Ingeniería Mecánica y Química y Diseño Industrial, de la Universidad Politécnica de Madrid.

Deseo hacer extensiva mi gratitud a todos aquellos que de una forma u otra han colaborado en el desarrollo de este trabajo de Tesis Doctoral; desde muchos radiólogos, del Complejo Universitario Asistencial de Salamanca, que nos han ayudado en la adquisición de imágenes de resonancia magnética y tomografía computarizada, como a integrantes del Departamento de Ingeniería Mecánica, Química y Diseño Industrial, por la utilización de todo el equipamiento necesario tanto para el escaneado de piezas anatómicas como para su posterior procesado e impresión 3D.

Quiero agradecer igualmente a todos aquellos que en los momentos de desaliento han estado acompañándome en todo el proceso de trabajo de este trabajo, así como en la preparación última de esta Tesis Doctoral, siendo todo ellos, alegría, ilusión y acicate para la culminación de este trabajo.

A todos mis amigos que, de alguna manera, me alentaron y se interesaron para que esta Tesis fuera terminada.

A todos, muchas gracias.

MARIA TERESA UGIDOS





PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO

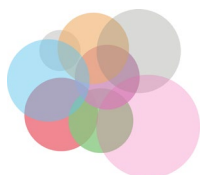
MARIA TERESA UGIDOS





ÍNDICE

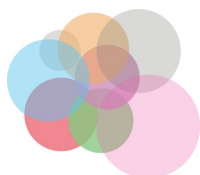
Índice.....	5
1. INTRODUCCIÓN	9
2. JUSTIFICACIÓN Y PLANTEAMIENTO: OBJETIVOS.....	13
2.1 Definición del problema:	16
2.2 Objetivo General	17
2.3 Objetivos específicos.....	17
3. METODOLOGÍA.....	19
3.1 Primer objetivo de la tesis:	21
3.1.1 Ubicación de los medios técnicos de obtención de las imágenes:	22
3.2 Segundo objetivo:	22
3.2.1 Imágenes obtenidas mediante tomografía computarizada y su tratamiento	23
3.2.2 Imágenes obtenidas mediante escáner y su tratamiento	26
3.3 Tercer objetivo.	30
4. RESULTADOS.....	33
4.1 Resultados Anatómicos	35
4.2 Resultados estadísticos	36
5. CONCLUSIONES.....	39
6. BIBLIOGRAFIA	42
7. ANEXOS: PUBLICACIONES.....	45
COMUNICACIONES A CONGRESOS INTERNACIONALES.....	47
ARTICULOS EN REVISTAS.....	49
8. ANEXO I:	51



PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO

Objetivos.....	53
Metodología.....	53
Resultados.....	54
Conclusiones.....	54
9. ANEXO II:	65
Objetivos.....	67
Metodología.....	67
Resultados.....	68
Conclusiones.....	68
10. ANEXO III:	73
Objetivos.....	75
Métodos:.....	75
Resultados.....	75
Conclusiones.....	75
11. ANEXO IV:	77
Objetivos.....	79
Metodología.....	79
Resultados.....	79
Conclusiones.....	80
12. ANEXO V:	89
Objetivos.....	91
Metodología.....	91
Resultados.....	92
Conclusiones.....	93
13. ANEXO VI:	99



PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO

Objetivos.....	101
Metodología.....	101
Resultados.....	102
Conclusiones.....	102
14. ANEXO VII:	109
Objetivos.....	111
Metodología.....	111
Resultados.....	112
Conclusiones.....	112
15. ANEXO VIII:	119
Objetivos.....	121
Metodología.....	121
Resultados.....	122
Conclusiones.....	122
16. ANEXO IX:.....	129
Objetivo.....	131
Metodología.....	131
Resultados.....	133
Conclusiones.....	133
17. ANEXO X:.....	141
Objetivos.....	143
Metodología.....	Errore. Il segnalibro non è definito.
Resultados.....	144
Conclusiones.....	144



PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO



PROGRAMA DE DOCTORADO

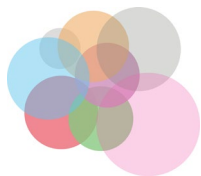
FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO

1. INTRODUCCIÓN



PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO



PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO

Las nuevas tecnologías, encabezadas por los sistemas de visualización tridimensional comienzan a introducirse en el estudio de anatomía humana en las facultades de Ciencias de la Salud (1). La rápida evolución tecnológica en el campo del diagnóstico por imagen ha permitido desarrollar métodos de visualización que proporcionan gran nitidez y capacidad de resolución (2). Así mismo, el uso de escáneres manuales, cada vez más prácticos, nos permiten la obtención de imágenes en tres dimensiones (3D) que posteriormente, mediante softwares específicos, son tratadas y pueden ser leídas por una impresora 3D para crear objetos 3D (3).

El aparato estomatognático constituye una compleja estructura tanto a nivel funcional y anatómico. Este aparato juega un papel fundamental en la masticación, deglución, expresividad facial y el habla, funciones que lo hacen imprescindible para las necesidades básicas de la alimentación y relaciones sociales. La reconstrucción de este aparato tras lesiones y planificación quirúrgicas es fundamental (4) (5) (6). A la hora del estudio, de este aparato, por los estudiantes de Anatomía nos encontramos que las estructuras óseas que constituyen este aparato suelen estar muy deterioradas, lo que dificulta un buen estudio morfológico. Las nuevas tecnologías pueden facilitar el estudio anatómico (7) (8) (9).

Actualmente la tecnología de la impresión 3D se encuentra en un punto de evolución que podría representar su extensión masiva en el sistema productivo, gracias a la disminución de precios de los equipos y la evolución del conocimiento asociado a esta tecnología y a los nuevos materiales de impresión incluidos los biomateriales (10) (11).

Las aplicaciones de la impresión 3D en el campo de la medicina están evolucionando cada día abriéndose nuevas líneas de investigación (12) (13) (14). En el campo médico estas técnicas permiten crear piezas óseas adaptadas a los defectos anatómicos con una gran precisión, así como una planificación previa de las cirugías (15) (16). La revolución en el campo de la medicina traerá la posibilidad de crear órganos y fragmentos óseos adaptados a cada caso y colocarlos mediante un procedimiento análogo a las técnicas de cirugía dental en el campo de la odontología (6) (12) (17).

En nuestro trabajo de Tesis Doctoral, se fabricaron modelos 3D del aparato estomatognático, incluyendo dientes, partiendo de imágenes obtenidas por distintos



PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO

medios técnicos como la tomografía computarizada y escáneres láser y de luz estructurada de mano y de brazo.

Los modelos 3D óseos se presentaron a los alumnos de Anatomía Humana en la Universidad de Salamanca que valoraron mediante una encuesta su utilidad en el aprendizaje de anatomía ósea. El rápido avance en esa tecnología de impresión 3D, así como en la revolución de los biomateriales, promete una mayor difusión médico quirúrgica de esta técnica.



2. JUSTIFICACIÓN Y PLANTEAMIENTO: OBJETIVOS



PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO



PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO

La posibilidad de incorporar las nuevas tecnologías en el estudio de una asignatura básica, en la enseñanza de las titulaciones de Ciencias de la Salud como es la anatomía humana y la importancia de su conocimiento para entender el cuerpo humano y sus funciones, motivó el inicio de este trabajo de tesis doctoral.

El problema que planteamos fue si la incorporación de los modelos 3D creados por una impresora 3D, de determinados elementos óseos, puede ser útil en la enseñanza de anatomía y la valoración cualitativa que los alumnos realizaban de esos modelos 3D comparados con los restos óseos empleados en su formación. Analizamos los antecedentes y definimos unos objetivos que justifican el alcance de estos modelos en su incorporación como método de formación.

Los trabajos publicados y en los que hemos basado esta tesis siguen una cronología.

Los primeros trabajos publicados recogen la presentación del problema, los siguientes trabajos estudian las tecnologías empleadas y en los últimos se analiza cualitativamente la valoración de los alumnos. Cómo recogemos también en esta tesis por compendio de artículos, continuamos trabajando en el sistema estomatognático con la creación de dientes en resina y la incorporación de estas técnicas de modelos 3D en la planificación y entrenamiento de los profesionales médicos, previos a la cirugía de problemas traumatológicos de este sistema.

Como se ha planteado en los artículos:

- ***DESIGNING OF BONE MATERIAL WITH THREE-DIMENSIONAL PRINTERS: A SUPPORT TO STUDY ANATOMY IN HEALTH SCIENCES. EXAMPLE WITH JAW MODELS” (EDULEARN proceedings 2016).***
- ***“FAST SCANNING TECHNOLOGY AND 3D PROTOTYPE OF BONES FOR TEACHING PURPOSE” (INTED Proceedings 2017).***

La idea de la creación de estos modelos 3D nace de la necesidad que tienen los alumnos de un fácil acceso a elementos óseos que presenten características anatómicas identificables y que les permita la adquisición de conocimientos anatómicos precisos.



2.1 Definición del problema:

Los problemas detectados para sugerir la incorporación de las nuevas tecnologías a la enseñanza de esta asignatura se observaron en tres campos diferentes.

1. Los métodos tradicionales de estudio de esa asignatura, como los atlas anatómicos, no permitían al alumno valorar los huesos y dientes en tres dimensiones y las relaciones con las estructuras adyacentes.
2. La dificultad de obtener material nuevo procedente de cadáveres y de conservar los restos óseos procedentes de cadáveres, debido al deterioro ocasionado por el uso prolongado de estos durante el proceso de formación de los estudiantes.
3. La optimización del tiempo en la enseñanza de Anatomía Humana para impartir las clases tanto teóricas como prácticas, la adecuación a los nuevos planes de enseñanza y la incorporación del Plan Bolonia, que implicaba una mayor participación de los alumnos en la gestión de su enseñanza. Se hacía necesaria la optimización de los recursos académicos de los que se dispone y esto implicaba la incorporación de nuevas tecnologías en la enseñanza de las facultades de Ciencia de la Salud.

En la Universidad de Salamanca durante los últimos años se ha estado trabajando sobre la aportación de las nuevas tecnologías visuales en la formación anatómica de los alumnos de Ciencias de la Salud. Son varios los trabajos publicados que demuestran esta iniciativa de la universidad y no solo en técnicas visuales sino también en las plataformas de difusión de la información.

La incorporación de las nuevas tecnologías visuales resolvía el primer problema planteado que era la capacidad del alumno de visualizar la imagen 3D dentro de un contexto y las relaciones con las estructuras anatómicas adyacentes. Sin embargo, este avance tecnológico en las técnicas visuales no resolvía el problema de la necesidad de tocar y manipular los restos óseos o modelos 3D que los alumnos tienen. Para resolver este problema, en nuestro trabajo se crean modelos 3D, réplicas exactas del cráneo, mandíbula y dientes.



PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO

La colaboración de la Universidad de Salamanca y la Universidad Politécnica de Madrid, donde disponen de las tecnologías que permiten esta generación de modelos 3D, ha permitido la realización de este trabajo.

2.2 Objetivo General

En base a lo expuesto anteriormente, el objetivo general de la presente Tesis Doctoral es fabricar objetos 3D, reproducciones óseas exactas del sistema estomatognático para su uso, por estudiantes en diferentes titulaciones de Ciencias de la Salud, en el estudio de la asignatura de Anatomía Humana como complemento de los restos óseos procedentes de cadáveres. Piezas dentales y uso de la tecnología de impresión 3D en la planificación previa a la cirugía de patologías óseas del sistema estomatognático. Así como, presentar una perspectiva interdisciplinar entre las dos Universidades que han participado en esta tesis doctoral, que ha permitido un seguimiento de los trabajos para su posterior publicación.

2.3 Objetivos específicos:

1. Obtener imágenes exactas de los huesos y dientes que conforman el aparato estomatognático con diferentes medios, tomografía computarizada y escáneres de mano y brazo.
2. Reproducir de manera fidedigna modelos 3D óseos y dentales del sistema estomatognático, a escala real, con todos los accidentes anatómicos que estas piezas óseas presentan y que el estudiante de anatomía debe conocer e identificar.
3. Analizar los beneficios docentes que estas piezas impresas en 3D pueden tener en el estudio práctico de la Anatomía Humana y análisis estadístico de la valoración por los estudiantes de los modelos 3D óseos y dientes utilizados. Así como valorar su empleo en la planificación de cirugías de la zona anatómica.



PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO



3. METODOLOGÍA



PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO



En este capítulo recogemos los métodos empleados en la fabricación de estos modelos 3D y la valoración cualitativa de los alumnos, datos que han sido recogidos en las publicaciones y artículos que generan esta Tesis Doctoral por compendio.

3.1 Primer objetivo de la tesis:

“Obtener imágenes de los huesos que conforman el aparato estomatognático con diferentes medios: tomografía computarizada, escáneres láser y de luz estructurada de mano y brazo”.

Para conseguir este objetivo se emplearon restos óseos en buen estado de conservación, con ello se obtuvo una mejor calidad de las imágenes que reflejan los accidentes anatómicos con gran precisión.

Con nuestro trabajo de tesis doctoral empleamos tres formas diferentes para la obtención de piezas fidedignas óseas y se recogen en los siguientes artículos:

1- Imágenes obtenidas por tomografía computarizada:

- ***“DESIGNING OF BONE MATERIAL WITH THREE-DIMENSIONAL PRINTERS: A SUPPORT TO STUDY ANATOMY IN HEALTH SCIENCES. EXAMPLE WITH JAW MODELS” (EDULEARN PROCEEDINGS 2016).***

2- Imágenes obtenidas mediante el escáner de mano “Artec Eva Handheld Scanner”:

- ***“FAST SCANNING TECHNOLOGY AND 3D PROTOTYPE OF BONES FOR TEACHING PURPOSE” (INTED PROCEEDINGS 2017).***

3- Imágenes obtenidas mediante el escáner de brazo “Faro Arm Scan Platinum”:

- ***“PROCESSESING AND ADITIVE MANUFACTURNG OF BONES FOR TEACHING OF HUMAN ANATOMY” (TEEM 2016)***
- ***“APORTACIONES DE LA INGENIERIA INDUSTRIAL EN EL DESARROLLO DE MATERIALES ÓSEOS PARA LA FORMACIÓN MÉDICA” (TÉCNICA INDUSTRIAL 2017)***



3.1.1 Ubicación de los medios técnicos de obtención de las imágenes:

En el artículo:

- ***“DESIGNING OF BONE MATERIAL WITH THREE-DIMENSIONAL PRINTERS: A SUPPORT TO STUDY ANATOMY IN HEALTH SCIENCES. EXAMPLE WITH JAW MODELS” (EDULEARN PROCEEDINGS 2016).***

Se recoge que la tomografía computarizada helicoidal utilizada para capturar las imágenes de la mandíbula fue el modelo Asteion de la casa comercial Toshiba Medical Systems, que está ubicada en el Complejo Hospitalario Universitario de Salamanca y que proporcionó imágenes con reconstrucciones volumétricas del hueso con un intervalo de corte seleccionado de 1,5mm.

En los artículos:

- ***“PROCESSESING AND ADITIVE MANUFACTURNG OF BONES FOR TEACHING OF HUMAN ANATOMY” (TEEM 2016)***
- ***“APORTACIONES DE LA INGENIERIA INDUSRIAL EN EL DESARROLLO DE MATERIALES OSEOS PARA LA FORMACION MEDICA” (TÉCNICA INDUSTRIAL 2017)***
- ***“FAST SCANNING TECHNOLOGY AND 3D PROTOTYPE OF BONES FOR TEACHING PURPOSE (INTED PROCEEDINGS 2017)***

Se recoge que los escáneres empleados para digitalizar imágenes del hueso de la mandíbula y cráneo, tanto el escáner de brazo modelo Faro Arm Scam Platinum, como el Artec Eva Handheld Scanner están ubicados en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería y Diseño Industrial de la Universidad Politécnica de Madrid.

3.2 Segundo objetivo:

“Reproducir de manera fidedigna modelos 3D óseos del sistema estomatognático, a escala real, con todos los accidentes anatómicos que estas piezas óseas presentan y que el estudiante de anatomía debe conocer e identificar”.



3.2.1 Imágenes obtenidas mediante tomografía computarizada y su tratamiento

En los siguientes artículos publicados se describió este método de obtención de imágenes para su posterior tratamiento:

- *"DESIGNING OF BONE MATERIAL WITH THREE-DIMENSIONAL PRINTERS: A SUPPORT TO STUDY ANATOMY IN HEALTH SCIENCES. EXAMPLE WITH JAW MODELS" (EDULEARN PROCEEDINGS 2016)*
- *"SYSTEMS OF DIGITILIZATION AND PROCESSING OF ANATOMICAL PIECES FOR THEIR THREE-DIMENSIONAL RECONSTRUCTION" (TEEM 2017).*
- *"DIFFERENT DIGITALIZATION TECHNIQUES FOR 3D PRINTING OF ANATOMICAL PIECES" (JOURNAL OF MEDICAL SYSTEMS 2018)*

3.2.1.1 Características técnicas del tomógrafo computarizado

El tomógrafo empleado situado en el Complejo Hospitalario Universitario de Salamanca es de la casa Toshiba y es el modelo Asteion Multi 4, facilitó un escaneo inclinado con un modelo guiado de alta eficiencia y proporcionó imágenes precisas y de fácil uso.

Dentro de sus características técnicas podemos destacar:

- Número de cortes: 4
- voltaje en el tubo de rayos X (KV): 140
- apertura Gantry (mm): 72
- peso corporal máximo (Kg): 205
- espesor máximo de corte (mm): 10
- espesor mínimo de corte (mm): 0,5
- tiempo de escaneo 360°: 0,75

Para nuestro trabajo se escanearon un hueso mandibular, cráneo en muy buen estado de conservación. Se seleccionó un grosor e intervalo de corte de 1,5mm, adquiriéndose imágenes con reconstrucción volumétricas de estas piezas.



3.2.1.2 Tratamiento informático de las imágenes.

En términos informáticos las imágenes obtenidas están compuestas por píxeles en una escala de grises, estas imágenes se traducen en la **escala de Unidades Hounsfield (HU)**. Dentro de esta, el valor en unidades del hueso, en esta escala, se sitúa entre 400 unidades o más. El conjunto de estos valores obtenidos se insertó en una matriz de tamaño definido y se generaron las imágenes. Para obtener las imágenes 3D se les añade el componente de espesor.

La forma de almacenamiento de estas imágenes obtenidas es el archivo DICOM (Digital Imaging and Communication in Medicine), es el punto de partida y está integrado por la información obtenida de las imágenes topográficas más otras especificaciones como son los datos del paciente.

La imagen 3D está formada por una secuencia de archivos DICOM cada uno contiene una imagen axial caracterizada por un espesor y trabajando con el espesor se configura la calidad de la imagen. Con un espesor pequeño se consiguen imágenes más definidas, pero con mayor probabilidad de errores.

Con el fin de conseguir una mayor homogenización de las dimensiones entre los tres volúmenes, las imágenes DICOM fueron alineadas tomando como referencia el plano axial adquirido en las secuencias. Además, para facilitar la fase de modelado, los tres volúmenes fueron redimensionados obteniendo imágenes isotrópicas con vóxeles de 1mm que poseen el mismo tamaño en todas las dimensiones.

Las imágenes DICOM fueron extrapoladas al software 3D Slicer donde se procedió a su tratamiento y manipulación. Este software permite la visualización y tratamiento de imágenes. La versión actualizada de Slicer 4.3, (2013) nos permitió visualizar los datos de las imágenes médicas, registrar varias imágenes por comparación, realizar mediciones en las imágenes y crear modelos en tres dimensiones. El interfaz gráfico de usuario que incorpora nos permitió interactuar los datos y nos facilitó la segmentación manual y la creación de modelos de superficie 3D a partir de imágenes convencionales.

La carga de datos en el software Slicer 3D se realizó arrastrándolos desde el escritorio. Una vez realizado el paso anterior se procedió a recortar la zona que luego iba a ser impresa en 3D. Continuando con el menú, el desplegable "Display", en la opción "Present", nos permitió colorear para una mejor visualización de la zona que



PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO

luego fue impresa. En las opciones “Eneable” y “Display ROI” pudimos elegir la celda con la imagen más nítida y luego recortamos el volumen de esta imagen al introducirla en el módulo “Crop Volume”. Finalizado este paso se trasladó al módulo “Editor” donde se procedió a crear un mapa de etiquetas segmentando el hueso. Nos aparecieron dos límites umbral y aumentamos el inferior para que solo los valores de alta intensidad aparecieran en la segmentación. Con este paso se creó el modelo en 3D y se guardó este modelo creado en el módulo “Save”. Las imágenes que obtuvimos fueron de alta resolución y a continuación, se procedió a la simplificación y suavizado de la malla conseguida, obteniendo modelos poligonales que se trataron posteriormente con el programa de modelado Autodesk Maya.

Según la página oficial de este software Maya, es un software de animación 3D que proporciona un conjunto completo de funciones creativas para realizar animaciones, modelados, simulaciones y “renderizado”. El software Maya nos proporcionó un aumento de la productividad del modelado, textura y creación de sombras, así como también creó superficies matemáticamente uniformes al incorporar un conjunto de herramientas intuitivas para crear y editar mallas. Con este software se transformó el objeto, de manera básica, con rotaciones, escalado y traslado, pero también se trabajó con mallas lo que significa que se pudieron hacer transformaciones a nivel de aristas y vértices.

Las imágenes 3D obtenidas en este trabajo de Tesis Doctoral fueron transportados al software Blender, de diseño tridimensional, que aportó curvas, mallas poligonales y zonas de vacío estructurales con las que se elaboraron figuras complejas. Este software trabaja con capas que son una abstracción que permite dividir los objetos en subconjuntos disjuntos con los que se puede trabajar de forma independiente. Tiene, también, la posibilidad de trabajar con mallas que son un conjunto de caras unidas por vértices y aristas.

En nuestro trabajo de Tesis Doctoral con el software Blender se transformó el objeto 3D en su conjunto, con rotación y transformación de los vértices y aristas. Con este software, que dispone de un formato de exportación STL, se consiguió un formato compatible con la impresora 3D. Después de ese proceso de exportación solamente fue necesario importar el modelo en el software de impresión configurado en la impresora 3D.



PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO

La impresora 3D que empleamos en el trabajo es Colido X 3045 ubicada en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería y Diseño Industrial de la Universidad Politécnica de Madrid, esta impresora funciona con un formato G-Code generado por el software laminador CURA que incorpora, permitió leer el formato STL.

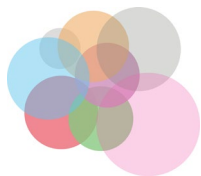
Las condiciones que hemos cumplido para la creación de modelos 3D correctos en este trabajo son las siguientes:

- Creación de mallas cerradas.
- Comprobación de las normales del modelo, comprobando que se imprime siguiendo la cara exterior del modelo
- Valorar que el modelo es compacto
- Laminación del modelo STL
- Calibración de la impresora.
- Selección del material

Los códigos, procedentes de los softwares médicos de tratamiento de imágenes para este trabajo, fueron editados para convertirlos en un lenguaje interpretable por la impresora. Estos códigos emitieron instrucciones a la impresora como la posición del extrusor, la velocidad de impresión, el relleno o la construcción automática de soportes para elaborar las distintas capas del objeto 3D y obtuvimos así modelos 3D que son reproducciones fidedignas del objeto inicial escaneado, en nuestro caso el sistema estomatognático.

3.2.2 Imágenes obtenidas mediante escáner y su tratamiento

Las piezas óseas que hemos escaneado para este trabajo de Tesis Doctoral, cráneo, mandíbula y piezas dentales, están en unas condiciones de conservación optimas y es fácil identificar los accidentes anatómicos. Todas ellas son piezas complejas con gran dificultad de escaneo. Para poder acceder en todos los planos y obtener una imagen real en puntos de toda la pieza hemos necesitado un medio de soporte que estabiliza la pieza durante el proceso de escaneado. Hemos empleado como estación de trabajo un equipo portátil modelo Dell Latitude E5440, que nos proporcionó una buena estabilidad durante la toma de imágenes de escaneo.



3.2.2.1 Escáner de brazo Faro Arm Scan Platinum

El escáner de brazo empleado en nuestro trabajo fue Faro Arm Scan Platinum. Este laser permitió escanear, el cráneo y las piezas dentales, con y sin contacto. Puede pasar de una forma de escaneo a otra sin necesidad de intercambiar ningún componente.

Las características de este escáner nos permitieron medir con el palpador las características prismáticas y con láser sin contacto aquellas zonas que requirieron mayor volumen de datos. La versatilidad de movimientos nos facilitó la digitalización de objetos con formas irregulares, imprecisas y complejas sin contacto con la pieza. Este escáner por sus características técnicas es una herramienta ideal para inspeccionar, comparar nubes de puntos con CAD, creación rápida de prototipos, ingeniería inversa y modelado 3D.

Características técnicas del láser Faro Arm Scan Platinum

Entre las características técnicas de este láser se encuentran:

- Banda de escaneo extra ancha.
- Velocidad rápida
- Captura de componentes complejos muy detallados debido a los 2000 puntos reales por la línea de escaneo
- La precisión de escaneo es de 25 micras y la velocidad de escaneo 560.000 puntos por segundo
- No requiere targets fotométricos debido a la precisión de su brazo articulado que garantiza una excelente precisión de imágenes.

El escáner para iniciar la toma de imágenes se posicionó en el espacio tras la primera toma de cuatro puntos y se fijó en eje Z. Una vez está ubicado en las coordenadas se inició la toma de datos de la pieza y se empezó a construir la nube de puntos. Moviendo la pieza de mano del escáner a lo largo de todas las superficies se tomaron los datos para construir la nube de puntos, pasando varias veces sobre la misma zona se mejoró la calidad de la nube.



PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO

Esta nube de puntos se editó con los softwares tipo CAD (Computer Aided Design) de los que hay varias versiones en el mercado, entre estas se encuentra Geomagic Design X.

El software Geomagic Desing X permitió convertir los datos del escaneado 3D en modelos CAD con características de gran calidad, al combinar la extracción de modelos de forma automática y guiada con su edición de mallas y procesamiento de la nube de puntos. Asimismo, los algoritmos de la ingeniería inversa que lleva este software permitieron reconstruir datos de diseño y el plugin le permitió verificar la desviación entre el modelo y los datos escaneados para crear modelos más precisos. Mediante el tratamiento de estas imágenes se suavizó las superficies, eliminando o uniendo puntos, con ello se obtuvieron diseños más homogéneos que permitieron crear un objeto 3D con mayor definición por parte de la impresora 3D.

Este software permitió exportar estos datos al formato STL que es leído por la impresora 3D. Las características que tuvo que cumplir este formato para la creación de un modelo 3D correcto fueron:

- Ser un fichero estanco, con las normales hacia el exterior (para diferenciar cara interna o externa)
- No superar un peso de 150 MB.
- Un espesor no inferior a 0,5mm.

La impresora 3D que hemos empleado, en la realización de nuestro trabajo funciona con un formato conocido como G-Code generado por un software laminador como el CURA que viene incorporado en la impresora 3D Colido X 3045. Este software laminador CURA puede leer los formatos STL exportados desde el software Geomagic Desing X.

La impresora 3D integra un único extrusor con intercambiador de doble filamento que permitió conseguir, en este trabajo de Tesis Doctoral, diseños de alta calidad. Se realizó una resolución de capa de hasta 0,1 mm y un diámetro de extrusor de 1,75 mm; una velocidad de 40mm/segundo y la construcción automática de soportes para elaborar las distintas capas del objeto.

El material que hemos empleado en la elaboración de los modelos 3D de cráneo es Acido Poliláctico (PLA) que se depositó en capas de 0,2 mm. El PLA es biodegradable porque es de origen natural, proviene del maíz y en como ventajas



PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO

incluye: Un punto de fusión bajo y no requiere una base caliente para la adherencia de la primera capa con lo que produce un menor consumo energético.

En la elaboración de los modelos dentales 3D empleamos resina rígida (Formlabs Resin Rigid). Esta resina incorpora polvo de vidrio que le proporciona rigidez y acabado pulido. Debido a las características de esta resina se tuvo que emplear un tanque de resina específico y para liberar los modelos 3D de la base de impresión se calentó esta con aire caliente. Una vez liberados de la base se lavaron con alcohol isopropílico durante 15 minutos y se dejaron secar completamente. Para el post-curado utilizamos Form Cure que usa calor y luz LED de 405nm, seguimos las indicaciones técnicas del fabricante y se calentaron a 60 ° durante 30 minutos. Se consiguieron modelos muy precisos.

Una vez finalizado el proceso de elaboración de los modelos 3D, se eliminó con una lija los restos de las sustentaciones y se consigue el modelo 3D ya terminado y listo para la valoración por parte de los alumnos.

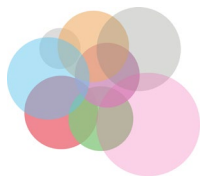
3.2.2.2 Escáner de mano: Artec Eva Handheld Scanner

Dentro de los diferentes métodos de escaneo del sistema estomatognático realizados para este trabajo y como recogimos en el artículo: ***“FAST SCANNING TECHNOLOGY AND 3D PROTOTYPE OF BONES FOR TEACHING PURPOSE” (INTED Proceedings 2017)*** empleamos el escáner Artec Eva Handheld Scanner como dispositivo de digitalización. La capacidad de procesamiento de este escáner es de 40000000 triángulos/1 GB RAM, lo que permitió realizar modelos 3D de forma rápida, precisa y con texturas, obteniendo rápidamente modelos en alta resolución.

Características técnicas del escáner Artec Eva Handheld Scanner

Entre las especificaciones técnicas más relevantes de ese escáner de mano destacan las siguientes:

- Resolución 3D: 0.5 mm
- Precisión puntos 3D: 0.1 mm
- Resolución de texturas: 1.3 MP
- Velocidad de adquisición de datos: 2 millones de puntos por segundo



PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO

- Campo de visión angular: 30x21°

Para mantener la pieza ósea que vamos a escanear en una posición estática hemos empleado, como estación de trabajo, un equipo portátil modelo Dell Latitude E5440.

Este escáner Artec Eva incorpora un programa informático, Artec Studio 3D que aceleró el flujo de trabajo al poder borrar, de manera automática, la base en la cual fue escaneado el sistema estomatognático además alineó los datos escaneados con una excelente precisión.

Con este programa los modelos fueron modificados de manera adicional gracias a las herramientas de edición de geometría que incorpora. Con el modo de fusión en tiempo real mejorado de Artec Studio 3D conseguimos la capacidad de mover el escáner alrededor de un objeto y ver el modelo mientras que estaba siendo construido. Este software Artec Studio 3D permitió, además, incrementar la flexibilidad en su uso al poder integrarse, sin inconveniente, con los programas CAD.

Empleamos el software Geomagic Desing X 3D para el procesamiento del modelo anatómico. Se trabajó con mallas poligonales y alineamiento de nubes de puntos. Este software nos permitió modificar los diseños al eliminar la geometría dañada y ajustar dimensiones.

La impresora 3D que hemos empleado en la realización de nuestro trabajo funciona con un formato conocido como G-Code generado por un software laminador como el CURA que viene incorporado en la impresora 3D Colido X 3045. Este software puede leer los formatos STL exportados desde el software Geomagic Desing X.

3.3 Tercer objetivo.

“Analizar los beneficios docentes que estas piezas impresas en 3D pueden tener en la práctica de la anatomía humana y análisis estadístico de la valoración por los estudiantes de los modelos 3D óseos”.

Para llevar a cabo este objetivo se elaboró una encuesta que se repartió entre los estudiantes de Anatomía Humana de la Universidad de Salamanca. De ella se extrajeron resultados que fueron analizadas estadísticamente en los artículos:



PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO

- ***“AN ESTUDY EVALUATING THE LEVEL OF SATISFACTION OF THE STUDENTS OF HEALTH SCIENCES ABOUT THE USE OF 3D PRINTED BONE MODELS” (TEEM 2018)***
- ***“EVALUATION OF APPLICABILITY OF 3D MODELS AS PERCEIVED BY THE STUDENTS OF HEALTH SCIENCES” (JOURNAL OF MEDICAL SYSTEMS 2019)***

Para conocer la valoración de satisfacción de los alumnos se llevó a cabo un estudio observacional descriptivo. Se elaboró una encuesta de satisfacción con 10 ítems. El análisis de esta encuesta nos permitió valorar la opinión y satisfacción de los alumnos que estudiaban Anatomía Humana en la Universidad de Salamanca.

Las titulaciones que se incluyen en la encuesta son: Medicina, Odontología, Enfermería, Fisiología y Terapia Ocupacional.

El objetivo de esta encuesta fue valorar la posibilidad de utilizar los modelos 3D óseos del sistema estomatognático reproducciones a escala, obtenidos en nuestra investigación, en las prácticas de Anatomía de las facultades anteriormente citadas. Así como conocer la satisfacción de los alumnos tras comparar en su estudio de Anatomía las piezas óseas procedentes de cadáveres y los modelos 3D obtenidos en nuestro estudio con la impresora 3D Colido X 3045.

Para llevar a cabo esta valoración se realizó una encuesta a una muestra total de 280 alumnos. De los cuales 116 eran estudiantes de Medicina, 56 de enfermería, 42 de Fisioterapia, 24 de Odontología y 42 de Terapia Ocupacional.

Los ítems que se valoraron atendieron a variables subjetivas y fueron los siguientes:

- Sexo
- Consideración de utilización de huesos reales en las practicas
- Estado del material
- Material en estado de conservación
- Capacidad para identificar accidentes óseos en el material de practicas
- Preferencia `por material gráfico a material real
- Grado de visualización de accidentes óseos en huesos 3D (diseñados)
- Grado de realismo de la pieza 3D con relación a la real



PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO

- Grado de necesidad de tener un almacén de huesos para prácticas en 3D

Para la recogida de datos se diseñó una encuesta de satisfacción tipo Likert de 5 puntos, esta escala nos permitió conocer el grado de conformidad del alumno con las afirmaciones que se propusieron. Las ventajas de esta escala incluyen la posibilidad de graduar la opinión de los alumnos ante afirmaciones concretas y así mismo es una escala fácil de diseñar.

Los puntos que recoge esta encuesta y que nos permite valorar el grado de satisfacción del alumno son:

- Totalmente en desacuerdo
- Desacuerdo
- Ni acuerdo ni desacuerdo
- De acuerdo
- Totalmente de acuerdo

Esta encuesta se llevó a cabo en las clases prácticas de anatomía con diferentes grupos de alumnos y en días diferentes. Se recogieron las encuestas y se procedió a analizar estadísticamente los resultados de estas. Para este proceso se empleó el programa estadístico de IBM SPSS 22 en su última versión que nos permitió realizar un estudio estadístico interactivo cuyos resultados exponemos con posterioridad.

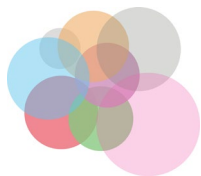


4. RESULTADOS



PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO



Los resultados obtenidos en nuestro trabajo de Tesis Doctoral quedan reflejados en las publicaciones que detallan a continuación:

4.1 Resultados Anatómicos:

En el artículo:

- ***“PROCESSESING AND ADDITIVE MANUFACTURING OF BONES FOR THE TEACHING OF HUMAN ANATOMY (TEEM 2016)***

Se recogen los accidentes anatómicos que son identificables tanto en los restos óseos de la mandíbula y maxilar como en los modelos 3D generados en nuestro trabajo con la impresora 3D.

En el modelo 3D de la mandíbula, que hemos obtenido en nuestro trabajo, se diferencian con precisión estructuras anatómicas de este hueso entre ellas podemos destacar: En la visión anterolateral se distinguen la apófisis coronoides y el cóndilo mandibular y entre ambos la escotadura mandibular. El cóndilo forma parte de la articulación temporo-mandibular. También se observa con gran precisión el cuerpo, ángulos y ramas mandibulares. Son visibles, en la visión anterior, los agujeros mentonianos. En la cara posterior se observan las espinas mentonianas superiores e inferiores.

En la cara posterior se aprecian en la parte media y cerca del borde inferior cuatro pequeños salientes superpuestos, dos a la derecha y dos a la izquierda, que son las espinas mentonianas superiores e inferiores.

El modelo 3D del maxilar, dentro del cráneo, obtenido, refleja también con gran precisión las características anatómicas de este hueso. Este es un hueso par situado a ambos lados de la línea media de la cara. Se articulan entre si y forman parte del suelo de la órbita, cara lateral de fosa nasal y superior de la cavidad bucal.

En la cara lateral se observan las prominencias que se corresponden con las raíces dentarias y la eminencia canina que es más marcada. Se aprecia así mismo el proceso cigomático situado en una posición superior a las prominencias dentarias.

En los dientes 3D fabricados para nuestro trabajo de Tesis Doctoral, con resina, se observaba con gran precisión los detalles anatómicos. Entre estas características



anatómicas destacaban, en el canino la raíz larga y única, así como la corona con la presencia del cíngulo en la cara palatina en el superior y lingual en el inferior. La corona presentaba una forma pentagonal con proporciones mayores vestibulopalatinas que mesiodistales.

En los modelos 3D de los molares a nivel anatómico se podía apreciar con gran definición las raíces y la corona con las características anatómicas de estas. Se observaban las cúspides, surcos, crestas y fositas en la cara oclusal. En las caras mesial y distal también se diferenciaban con gran precisión las crestas, cúspides, línea cervical y las raíces con sus diferencias anatómicas.

4.2 Resultados estadísticos

En los siguientes artículos analizamos de forma cualitativa la valoración de estos modelos óseos 3D por parte de los alumnos de: Medicina, Enfermería, Fisioterapia, Terapia Ocupacional y Odontología de la Universidad de Salamanca.

- ***“A STUDY EVALUATING THE LEVEL OF SATISFACTION OF THE STUDENTS OF HEALTH SCIENCES ABOUT THE USE OF 3D PRINTED BONE MODEL” (TEEM 2018)***
- ***“EVALUATION OF THE APPLICABILITY OF 3D MODELS AS PERCEIVED BY THE STUDENTS OF HEALTH SCIENCES” (JOURNAL OF MEDICAL SYSTEMS 2019)***

La importancia de este estudio estadístico cualitativo se basó en el número de estudiantes que integran la muestra 280 alumnos de las cinco titulaciones enunciadas anteriormente. No hemos encontrado referencias bibliográficas que recojan un número tan alto de muestra y que incluyan cinco titulaciones diferentes.

Los resultados obtenidos del análisis estadístico nos muestran, en cuestión de sexo, la mayor presencia femenina en las aulas de las titulaciones de Ciencias de la Salud de la Universidad Salamanca. En Enfermería y Terapia Ocupacional la diferencia es más significativa con una media del 80,4% en Enfermería y del 82,4 en Terapia ocupacional, le sigue Medicina con un 75,9% y en Odontología es en la facultad en la que hay menos diferencia de presencia entre alumnos masculinos y femeninos con una diferencia positiva femenina del 62,5%.



PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO

En base a esta diferencia estadística con mayor presencia femenina en las aulas se valoró si existían diferencias estadísticas en la valoración de las piezas óseas reales y modelos 3D comparando la percepción por sexos.

No se apreciaron diferencias estadísticas en esta percepción entre ambos sexos por lo que se continuó la valoración estadística sin tener en cuenta la cuestión del sexo.

Los resultados estadísticos, que aportó la encuesta, en cuanto a la valoración de los alumnos del estado de conservación de las piezas óseas procedentes de cadáveres y que se emplearon en las prácticas de Anatomía, recogen que los alumnos se muestran indiferentes en un 41,3%, consideran que el estado de conservación de estas piezas está considerado con un perfil bajo.

De estas piezas analizadas las que presentaron un nivel más bajo de conservación por su mayor fragilidad ósea y su deterioro con el uso recurrente eran los cráneos, lo que es una de las justificaciones de nuestro estudio. Los accidentes óseos anatómicos que el alumno debe conocer de un aparato estomatognático y que forma parte del cráneo son muchos y requiere de un estado de conservación óptimo para que el alumno pueda identificarlos con facilidad.

La siguiente valoración fue la capacidad de identificar accidentes óseos tanto en las piezas óseas procedentes de osarios como en los modelos 3D fabricados para esta Tesis Doctoral y la comparación entre estos. Del análisis estadístico se dedujo que el 68% de los alumnos se muestran indiferentes ante el estudio de los accidentes óseos con piezas procedentes de humanos. Los datos recogidos nos indican que una parte de los alumnos tienen dificultad para identificar estos accidentes óseos en las piezas craneales procedentes de restos óseos.

Observando los resultados estadísticos de la encuesta a los alumnos tras analizar los modelos 3D de este estudio, un 48% estuvo satisfecho con el material y un 42,7% le era indiferente. De estos resultados estadísticas se dedujo que los alumnos valoran positivamente el empleo de estas piezas óseas, cráneo y mandíbula contruidos mediante impresión 3D para este estudio.

La valoración del grado de realismo de las piezas obtenidas por impresión 3D para este estudio comparándolas con las piezas óseas reales, siempre con referencia al cráneo y mandíbula, el 45,6% de los alumnos refieren estar satisfechos con el grado



PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO

de realismo de los modelos 3D y un 43,4% muestra indiferencia, nos indica que es aceptable los resultados obtenidos con los modelos 3D de esta investigación con respecto a las piezas óseas reales.

Analizando los diferentes métodos de estudio empleados por los alumnos de las diferentes titulaciones de Ciencias de la Salud de la Universidad de Salamanca para adquirir conocimientos anatómicos óseos, se deduce el empleo de modelos 3D es preferido en el estudio anatómico óseo, con una pequeña diferencia comparado con los restos óseos reales y con una diferencia significativa si los comparamos con los atlas anatómicos.

Los resultados de la respuesta de los alumnos valorando tener un almacén de modelos 3D para el estudio óseo en sus prácticas de Anatomía, un 65% valoró positivamente esta necesidad.



5. CONCLUSIONES



PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO



PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO

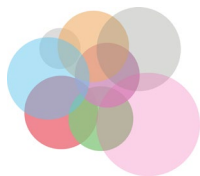
Tras realizar este trabajo de Tesis Doctoral sobre reconstrucciones tridimensionales del aparato estomatognático óseo y dientes, hemos llegado a las siguientes conclusiones:

1º.- La precisión de los detalles anatómicos, que se observaron en los modelos impresos en 3D de cráneo, mandíbula y dientes, fue muy buena; valorándose como una alternativa en la enseñanza práctica de la asignatura de Anatomía Humana en las titulaciones de Ciencias de la Salud como complemento de los restos óseos que se emplean en la docencia.

2º.- Los alumnos valoraron positivamente el empleo de modelos óseos 3D en las clases prácticas como una opción de aprendizaje complementaria a los huesos reales, cuando estos últimos sean insuficientes o presenten un grave deterioro por su uso continuado.

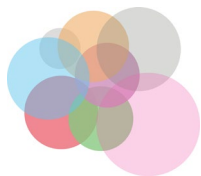
3º.- Los materiales de impresión, así como los medios técnicos de impresión 3D, están en constante evolución y la mayor revolución está prevista con la creación y empleo de biomateriales con los que será factible su implantación en el campo médico-quirúrgico como la cirugía reconstructiva estomatológica y planificaciones quirúrgicas y en la formación médica universitaria.

4º y última- Tras nuestro trabajo podemos deducir que se abre un campo de oportunidades de optimización y mejora en la calidad docente en el ámbito de la enseñanza universitaria de la Anatomía Humana, con la utilización de estos dispositivos tecnológicos de impresión 3D.



6. BIBLIOGRAFIA

1. McNulty JA, Sonntag B, Sinacore JM. Evaluation of computer-aided instruction in a gross anatomy course: A six-year study. *Anat Sci Educ*. 1 de enero de 2009;2(1):2-8.
2. Juanes JA, Ruisoto P, Obeso JA, Prats A, San-Molina J. Computer-Based Visualization System for the Study of Deep Brain Structures Involved in Parkinson's Disease. *J Med Syst*. 1 de noviembre de 2015;39(11):151.
3. Szymor P, Kozakiewicz M, Olszewski R. Accuracy of open-source software segmentation and paper-based printed three-dimensional models. *J Cranio-Maxillofac Surg*. febrero de 2016;44(2):202-9.
4. Nogueira BAP. Utilización del prototipado rápido en la odontología. *Rev Estomatológica Hered* [Internet]. 1 de septiembre de 2016 [citado 19 de diciembre de 2016];25(2). Disponible en: <http://www.perurevista.com/index.php/estoma/article/view/3908>
5. Obregon F, Vaquette C, Ivanovski S, Hutmacher DW, Bertassoni LE. Three-Dimensional Bioprinting for Regenerative Dentistry and Craniofacial Tissue Engineering. *J Dent Res*. 1 de septiembre de 2015;94(9_suppl):143S-152S.
6. Suomalainen A, Stoor P, Mäsimäki K, Kontio RK. Rapid prototyping modelling in oral and maxillofacial surgery: A two year retrospective study. *J Clin Exp Dent*. 1 de diciembre de 2015;7(5):e605-12.
7. Yammine K, Violato C. A meta-analysis of the educational effectiveness of three-dimensional visualization technologies in teaching anatomy. *Anat Sci Educ*. 12 de noviembre de 2015;8(6):525-38.
8. Grignon B, Oldrini G, Walter F. Teaching medical anatomy: what is the role of imaging today? *Surg Radiol Anat*. 1 de marzo de 2016;38(2):253-60.
9. Azer SA, Azer S. 3D Anatomy Models and Impact on Learning: A Review of the Quality of the Literature. *Health Prof Educ*. 1 de diciembre de 2016;2(2):80-98.
10. Chia HN, Wu BM. Recent advances in 3D printing of biomaterials. *J Biol Eng*. 2015;9:4.



PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO

11. Jose RR, Rodriguez MJ, Dixon TA, Omenetto F, Kaplan DL. Evolution of Biopinks and Additive Manufacturing Technologies for 3D Bioprinting. ACS Biomater Sci Eng [Internet]. 25 de marzo de 2016 [citado 19 de abril de 2016]; Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1021/acsbiomaterials.6b00088>
12. Marro A, Bandukwala T, Mak W. Three-Dimensional Printing and Medical Imaging: A Review of the Methods and Applications. Curr Probl Diagn Radiol. 1 de enero de 2016;45(1):2-9.
13. Bajaj P, Schweller RM, Khademhosseini A, West JL, Bashir R. 3D Biofabrication Strategies for Tissue Engineering and Regenerative Medicine. Annu Rev Biomed Eng. 11 de Julio de 2014;16: 247-76.
14. Baskaran V, Štrkalj G, Štrkalj M, Di Ieva A. Current Applications and Future Perspectives of the Use of 3D Printing in Anatomical Training and Neurosurgery. Front Neuroanat [Internet]. 24 de junio de 2016 [citado 18 de diciembre de 2016];10. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4919320/>
15. Moraes D, Hemerson P, Olate S, Cantín M, Assis AF, Santos E, et al. Reproducibilidad Anatómica a través de Impresión 3D en Defectos Cranio-Maxilo-Faciales. Int J Morphol. septiembre de 2015;33(3):826-30.
16. Murgitroyd E, Madurska M, Gonzalez J, Watson A. 3D digital anatomy modelling – Practical or pretty? The Surgeon. junio de 2015;13(3):177-80.
17. Dawood A, Marti BM, Sauret-Jackson V, Darwood A. 3D printing in dentistry. Br Dent J. 11 de diciembre de 2015;219(11): sj.bdj.2015.914.

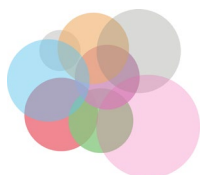


PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO

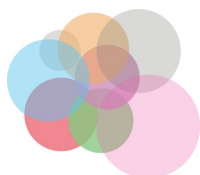


7. ANEXOS: PUBLICACIONES



PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO



PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO

COMUNICACIONES A CONGRESOS INTERNACIONALES

ANEXO I:

- Conferencia:** 8th Annual International Conference on Education and New Learning Technologies. Barcelona. 4-6 July. 2016.
- Autores:** M.T. Ugidos Lozano; J.A. Juanes Méndez; F. Blaya Haro
- Título:** Designing of bone material with 3D printers: A support to study anatomy in Health Sciences. Example with jaw models.
- Publicación:** EDULEARN16 Proceedings pp: 7098-7106, **ISBN:**978-84-608-8860-4, **ISSN:** 2340-1117, **DOI:**[10.21125/edulearn.2016.0549](https://doi.org/10.21125/edulearn.2016.0549)

ANEXO II:

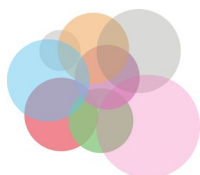
- Conferencia:** 4th International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality (TEEM'16). November 2nd - 4th, 2016, Salamanca
- Autores:** Maria Teresa Ugidos Lozano; Juan A. Juanes; Carlos Molino Diaz; Sadia Manzoor; Gonzalo Ferrer Ugidos; Fernando Blaya Haro
- Título:** Processesing and additive manufacturing of bones for the teaching human anatomy
- Publicación:** Proceedings TEEM16. pp: 533-536 The Association for Computing Machinery (ACM). 2016. New York 10121-0701. ISBN: 978-1-4503-4747-1. DOI: <http://dx.doi.org/10.1145/3012430.3012569>

ANEXO III:

- Conferencia:** Congresso Nacional de Investigaçao em Educaçao Medica. 19 Novembro, 2016. Covilhá. Portugal.
- Autores:** M.T. Ugidos Lozano, F. Blaya Haro, J.A. Juanes Mendez
- Título:** Creación de material óseo, mediante fabricación aditiva, como complemento y apoyo a la docencia de la Anatomía Humana.

ANEXO IV:

- Conferencia:** 11th Annual International Technology, Education and Development Conference. Valencia (Spain) 6th-8th of March 2017
- Autores:** M.T. Ugidos Lozano, F. Blaya Haro, J.A. Juanes Mendez.
- Título:** Fast scanning technology and 3D prototype of bones for teaching purpose.
- Publicación:** Published by IATED Academy Edited by L. Gómez Chova, A. López Martínez, I. Candel Torres. 2017 pp: 1610-1616. ISBN: 978-84-617-8491-2. ISSN: 2340-1079. Depósito Legal: V-369-2017



PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO

ANEXO V:

- Conferencia:** 5th International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality (TEEM'17). October 18- 20, Cádiz. 2017
- Autores:** M.T. Ugidos Lozano; F. Blaya Haro; Alessandro Ruggiero; J.A. Juanes Méndez.
- Título:** Systems of digitalization and processing of anatomical pieces for their three-dimensional reconstruction
- Publicación:** Proceedings of the 5th International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality. 2017. p. 1-5.
ISBN: 978-1-4503-5386-1
<https://doi.org/10.1145/3144826.3145402>

ANEXO VI:

- Conferencia:** 5th International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality (TEEM'18). October 24- 26, Salamanca. 2018
- Autores:** Maria Teresa Ugidos Lozano; Roberto D Amato; Alessandro Ruggiero, Sadia Manzoor, Juan A. Juanes Méndez.
- Título:** A study evaluating the level of satisfaction of the students of health sciences about the use of 3D printed bone models.
- Publicación:** Proceedings of the Sixth International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality October 2018 © 2018 ACM. Pages 368-372,
doi: <https://doi.org/10.1145/3284179.3284242>. ISBN 978-1-4503-6518-5.



PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO

ARTICULOS EN REVISTAS

ANEXO VII:

Juan Antonio Juanes Méndez, Fernando Blaya Haro, Maria Teresa Ugidos Lozano (2017). Contribution of industrial engineering in the development of bone materials for medical training. *Técnica Industrial*: 316: 36-40. (2017). DOI:10.23800/8824

ANEXO VIII:

Ugidos Lozano MT, Blaya Haro F; Molino Diaz C; Manzoor S; Ferrer Ugidos G; Juanes Mendez JA. 3D Digitization and Prototyping of the Skull for Practical Use in the Teaching of Human Anatomy. *Journal of Medical Systems* (2017) 41(5):83 doi: 10.1007/s10916-017-0728-1

ANEXO IX:

Ugidos Lozano MT, Blaya Haro F, Ruggiero A, Manzoor S, Nuere Menendez-Pidal S, Juanes Méndez JA. Different Digitalization Techniques for 3D Printing of Anatomical Pieces. *Journal of Medical Systems* (2018) 42(3):46. doi:10.1007/s10916-018-0903-z ISSN: 0148-5598. Springer US

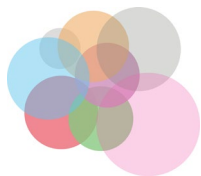
ANEXO X:

Ugidos Lozano MT, Blaya Haro F; Ruggiero A, S. Manzoor S, Juanes Méndez JA. Evaluation of the Applicability of 3d Models as Perceived by the Students of Health Sciences. *Journal of Medical Systems* (2019) 43:108. pp:1-6. part of Springer Nature. <https://doi.org/10.1007/s10916-019-1238-0>. ISSN0148-5598



PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO



PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO

ANEXO I:

DESIGNING OF BONE MATERIAL WITH THREE DIMENSIONAL PRINTER: A SUPPORT TO STUDY ANATOMY IN HEALTH SCIENCES. EXAMPLE WITH JAW MODELS



PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO



PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO

Objetivos

Los métodos didácticos están experimentando avances continuos y en los últimos años se han creado modelos en tres dimensiones generados con impresoras 3D y se ha iniciado su uso en numerosos campos de la ciencia.

Dentro del campo médico y en especialidades como traumatología y cirugía maxilo-facial se han incorporado estos modelos, tanto en la resolución de enfermedades, como en la planificación de las cirugías.

En el campo de la enseñanza los estudiantes necesitan huesos para el estudio de Anatomía. La imposibilidad de disponer de todos los huesos necesarios y su deterioro con el tiempo ha motivado el empleo de esta nueva tecnología para fabricar, en nuestro caso, mandíbulas para estudiantes de anatomía

Metodología

Para la obtención de imágenes radiológicas de la mandíbula se utilizó un equipo de tomografía computarizada situado en el Complejo Hospitalario Universitario de Salamanca, modelo Asteion de la casa comercial Toshiba Medical Systems.

Con la finalidad de homogeneizar al máximo las dimensiones entre los tres volúmenes de la mandíbula, las imágenes DICOM obtenidas fueron alineadas, tomando como referencia el plano axial adquirido en las secuencias. Además, para facilitar la fase de modelización, los 3 volúmenes fueron redimensionamientos. Se obtuvieron imágenes isotrópicas con vóxels de 1 mm, que poseen el mismo tamaño en todas las dimensiones.

Mediante el software 3D Slicer se llevó a cabo todo el proceso de tratamiento y manipulación de la imagen radiológica DICOM ((Digital Imaging and Communication in Medicine) obtenida con el tomógrafo computarizado. Se consiguió un modelo de malla triangular de la superficie de la mandíbula. Dada la alta resolución de las imágenes, se procedió a la simplificación y suavizado de la malla conseguida, obteniendo, de esta forma, modelos poligonales que podían posteriormente editarse con mayor facilidad, mediante programas específicos de modelado, como por ejemplo Autodesk Maya.



PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO

Los modelos obtenidos fueron transportados al software Blender para su preparación para la impresión 3D. Para ello se utiliza el formato de exportación STL disponible en Blender. Una vez finalizado este proceso de exportación, se importa el modelo en el software de impresión de la impresora 3D Colido X3045, Cura 14.01.

Resultados

La aparición de las impresoras 3D y su uso en la creación rápida de prototipos ha revolucionado las industrias automovilísticas, aeroespacial y en los últimos años su aplicación en medicina ha revolucionado la visión de los de los problemas clínicos y su resolución, así como también ha ampliado las nuevas líneas de investigación.

Estas aplicaciones incluyen la resolución de problemas clínicos propios de las patologías médicas y también pueden crear de forma personalizada, prótesis e implantes.

Los modelos en tres dimensiones generados por las impresoras 3D obtenidos en nuestro trabajo, se emplearon en la enseñanza a los alumnos de Anatomía de diferentes titulaciones en la Universidad de Salamanca.

Los problemas clínicos de enfermedades degenerativas o adquiridas pueden ser tratados con los nuevos medios terapéuticos que las nuevas tecnologías nos facilitan.

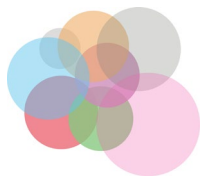
Conclusiones

La aparición de las nuevas tecnologías y el avance de las técnicas de imagen han supuesto un cambio en los métodos de enseñanza.

En el campo de la medicina la aparición de las imágenes en tres dimensiones y la generación de las impresoras 3D accesibles a nivel económico, nos permiten crear modelos que pueden ser aplicados en el tratamiento de enfermedades congénitas y adquiridas.

La creación de huesos artificiales por impresoras 3D facilita el acceso de estos a los estudiantes de anatomía de las facultades de Ciencias de la Salud.

La rápida evolución de las nuevas tecnologías hace que de momento sea difícil de imaginar los cambios en su uso que se producirán en un futuro cercano.



DESIGNING OF BONE MATERIAL WITH THREE-DIMENSIONAL PRINTERS: A SUPPORT TO STUDY ANATOMY IN HEALTH SCIENCES. EXAMPLE WITH JAW MODELS

M.T. Ugidos Lozano¹, J.A. Juanes Mendez¹, J. Gómez Lagándara², F. Blaya Haro³

¹ *Universidad de Salamanca (SPAIN)*

² *Image and Technological Knowledge Centre (CITEC-B) (SPAIN)*

³ *Universidad Politécnica de Madrid (SPAIN)*

Abstract

Teaching in different branches of health sciences has been traditionally based on the use of atlas, dissections or direct study of bones from human cadavers. However, the study using atlas limits the vision of students of Health Sciences to two dimensions, requiring a large capacity for abstract thinking to understand the three-dimensional (3D) structures that are necessary for the full anatomical knowledge that the student must acquire during their academic training. Another limitation is acquiring the original bone material from human cadavers for anatomical study. Currently, there have been advances in diagnostic techniques of imaging, along with the emergence of new information technologies and 3D modeling applied to teaching, introducing techno-pedagogical approach in anatomy, which has transformed teaching into a model that is more dynamic, realistic and attractive.

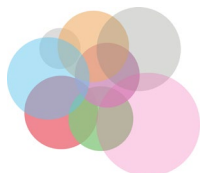
Currently the 3D printing technology has reached at a point of maturity that could allow its application and massive expansion in the productive system, thanks to the lowering of the equipment prices, developments made in this technology and its exploration to new materials. In this study, our purpose was to demonstrate the possibilities of improving the study that has employed the application of 3D printing technology in teaching of human bone anatomy of the stomatognathic system in the centers of Health Sciences. This technique has allowed the creation of a tangible and complex 3D objects that allow us to study beyond a simple 3D image view on a flat screen monitor. This work presents the description of the process of creating a 3D model of a human jaw design based on its images and subsequent creation of the model with the 3D printer. For the development of our anatomical models we have relied on the images of the original parts obtained with CT scanner Aquilion TSX model 101a of 32 detectors, which allowed us to analyze the bone structure in all its dimensions. Posteriorly, the images were analyzed by a software for the processing of 3D images, applying an algorithm known as marching cubes in order to obtain a triangular mesh model. 3D printer model ColiDoTM X3045 of addition or injection of polymers was employed. The thermosetting plastics employed in 3D imaging first suffered heating followed by fusion and their posterior cooling led to the creation of a rigid solid material. In this way we obtained full-scale bone material with all anatomical details that are sometimes blurred in the actual bones because of their poor condition or their deterioration over time. The three-dimensional design of bony structures will allow the students to gain a better understanding of morphological details of anatomical parts. These 3D models are more durable than the actual pieces resource.

Keywords: 3D imaging, bones, stomatognathic system, techno-pedagogical teaching, anatomy.

1 INTRODUCTION

The creation of the European Space of Higher Education known as the Bologna process and its implementation in the Spanish university educational system has led to the introduction of changes in the current education system [1]. In the New University Framework, continuous assessment, practical training and self-assessment are part of the new foundations. Likewise, the emergence of non-contact credits, makes necessary the search for new teaching methods and implementation of computer technologies in teaching [2,3].

New technologies related to teaching and education are constantly in the process of evolution. The rapid progress in the field of computer technology is not only resulting in the appearance of new methodologies but also lead to the evolution of currently used ones. However, application of these technologies has had detractors who believed that this type of education represented a setback to



PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO

education at pedagogical level [4]. Education based on new technologies such as Internet, enables the training of students in a unidirectional way, with no time-space restrictions or face to face student-teacher interaction [3]. The application of new technologies on one hand facilitates the teachers in the elaboration and presentation of lesson plans, and on the other helps students in the learning of those topics [2].

In the faculties of Health Sciences, particularly in medical schools, teaching human anatomy has been based on the dissection of human corpses [5,6]. Some authors defend this corpses dissection based approach of learning anatomy while other authors prefer adding new technologies to their teaching methods [6,7]. One of the arguments presented by authors opposing anatomy teaching based on corpses dissection is the scarcity and difficulty in obtaining the human cadavers as they come from donations and furthermore the bodies are perishable; making the access of students limited and difficult to this type of training [8,9].

In the field of anatomy, the emergence of new information technologies and their application in the study and learning has achieved an appreciable improvement in the outcome [10]. Furthermore, it has been observed that the combination of traditional and new technologies improve the performance of undergraduate students in the study of anatomy compared to only employing conventional teaching methodology [7]. The advances made in the diagnostic technologies based on imaging and development of new software that allow the application of these imaging techniques for the creation of three dimensional models has fomented new applications in this area for divulgative as well as clinical purposes [10,11].

Three-dimensional reconstructions models are very precise and allow students to visualize any bone, organ or system in all planes along with their relationship with nearby structures [12-14]. This accuracy, precision and visualization of structures helps the students in their studies, using these three dimensional images that are given preference by the students and teachers replacing the two dimensional images through atlas, X-rays, CT scans and MRI among others [15,16].

Teaching methodologies keep advancing and a result of this progress includes the generation of three dimensional models and 3D printers. The first patent on 3D printing appeared in 1993, and since then low costs of 3D printers and the possibility of using free software with a free access allowing to achieve three-dimensional models without great difficulty have extended and accelerated the use of this technique in many fields of science [17, 18]. In the field of medicine and at clinical level the use of this technique in various fields is reflected by the number of articles that present its use in different specialties and resolving different clinical problems. Among these specialties, traumatology and maxillo-facial surgery are the specialties that have made use of these models in giving solutions to treating diseases such as in surgery planning [18,19].

In the field of education, students need bones for anatomical studies. Sometimes it becomes impossible to obtain all the necessary bones and moreover the deterioration over time has motivated in this presented study to use this new technology for creating 3D human jaw models for facilitating the study and teaching of anatomy.

2 MATERIALS AND METHODOLOGY

For the reconstruction of mandible computerized tomographic instrument (model Asteion, Toshiba Medical Systems), installed at Complejo Hospitalario Universitario de Salamanca was used and is shown in figure 1. The thickness and cutting interval of 1.5 mm was selected, acquiring helical images with volumetric reconstructions of the mandible.



PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO



Figure 1. Computerized tomograph (Asteion, Toshiba Medical Systems).

In order to ensure maximum homogenization of the dimensions between the volumes of mandible, the obtained DICOM (Digital Imaging and Communication in Medicine) images were aligned, taking axial plane acquired in sequences as a reference. Moreover, for facilitate the modelling phase, 3 volumes were resized (*reslicing*), obtaining isotropic images with 1 mm voxels, i.e. with voxels that possessed the minimum size in all dimensions.

Posteriorly, for obtaining 3D jaw models, consisting of geometric patterns limited by polygon mesh (triangular), following procedure was carried out. All the processing and manipulation of DICOM image was done using 3D Slicer software.

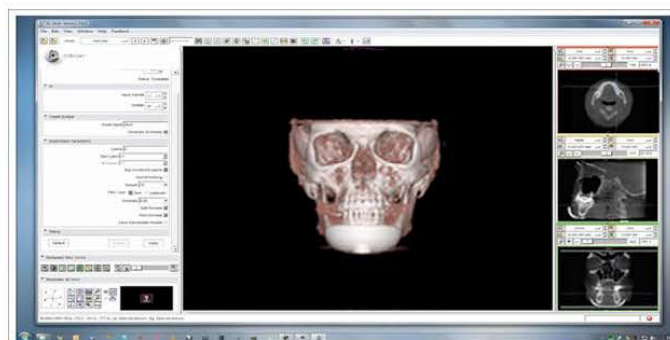
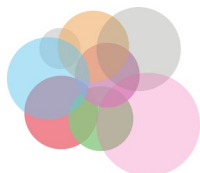


Figure 2. User interface of 3D Slicer software for the treatment and manipulation of the DICOM image.

The procedure followed delimiting the jaw in isometric volumes jaw and then an algorithm widely known as "*marching cubes*" was applied, obtaining a triangular mesh model of the jaw surface. Given the high resolution images, the achieved mesh was simplified and smoothened, obtaining polygonal models that could later be modified more easily by modeling programs such as Autodesk Maya (Figure 3).



PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO

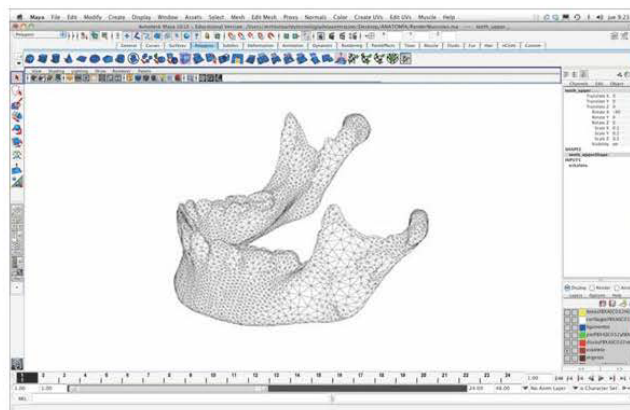


Figure 3. User interface of Autodesk Maya software for the treatment of mandible mesh.

The obtained models were transported to Blender software (figure 4) for the preparation of 3D imprinting. For this STL exportation format available in Blender was used. Once the export was finished, the model was imported in the 3D printer software and imprinting was done. In this step the software selected for this task was Cura 14.01 (Figure 5). This program integrates a laminating system that generates pathways for movement meanwhile the program sends it to the printer.

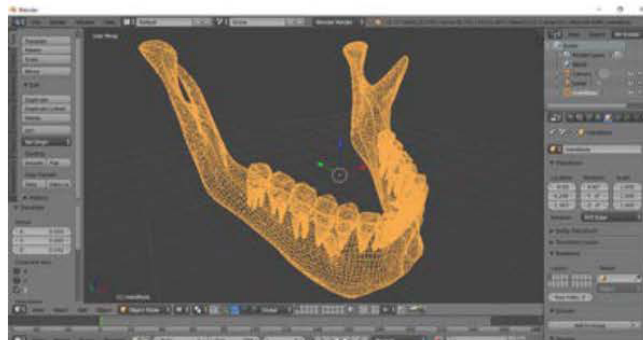


Figure 4. User interface of Blender software.

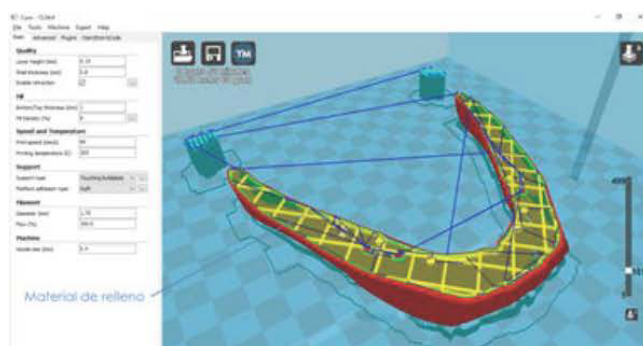


Figure 5. User interface of Cura software.

Finally 3D imprinting was proceeded using 3D printer (model, 3D Colido X3045) shown in figure 6. This printer prints 3D solid objects by fusion of filaments of PLA (*PolyLactic Acid*) and ABS (*Acrylonitrile Butadiene Styrene*). The printer's program "Repetier- Host" converts 3D files of design



PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO

into commands to be printed. The printer heats up the filament and pushes towards the extruder obtaining the model by Deposition Modeling.



Figure 6. Printer Cobido x 3045

The thermostable plastic materials employed in the printing were PLA/ABS. The models fabricated with PLA are rigid with a very fine finishing. Their melting point is between 180°-220°C.

3 RESULTS

The reconstruction of 3D model of mandible allowed its imprinting in order to evaluate its integral morphology facilitating the identification of all the anatomical details (Figure 7). This model imprinted in 3D improves the identification of different reliefs and bone details with respect to other bones that are found from cemeteries that in many cases have fractures or lack concrete details and precision.

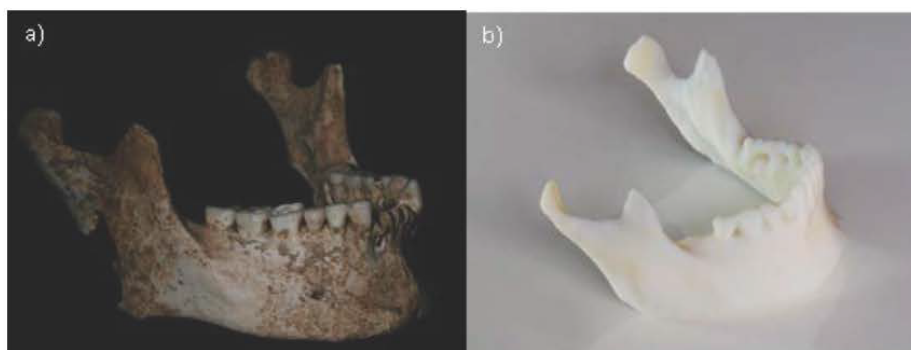
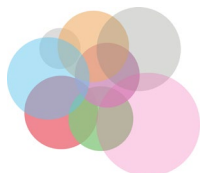


Figure 7. a) Human Mandible b) 3D model of mandible.

The mandible is the most dense and prominent bone of the face. With its horseshoe morphology, the projection in the middle and on two extremely lateral sides can be easily differentiated, corresponding to the ascending branches situated on both sides of the body. The 3D printing of this bone allows to see in detail the structures that occasionally in real bones appear damages such as coronoid process (Figure 7a), or the mandibular condyle.

With its horseshoe morphology, it can be easily differentiate a body in the middle and two ascending branches corresponding to the called side end parts on both sides of the body. 3D printing of this bone allows us to see in detail some structures that sometimes, in the actual bone, appear damaged, such as the



PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO

4 DISCUSSION

The emergence of 3D printers and their use in fast creation of prototypes has expanded new lines of research, revolutionizing aerospace and automobile industry [20]. In recent years medical field has found great applications of this technology in dealing with the clinical problems and their resolution [21]. These applications include solving clinical problems related to medical pathology as well as in personalized form such as creating prostheses and implants [22-24] and even deal with complex clinical problems [25-27].

The three-dimensional models generated by 3D printers are used in teaching students of distinct fields of sciences including Health Sciences [28,29]. The students of anatomy based their studies only on the dissection of cadavers and two dimensional atlas images. These approaches involve missing the details and this problem has been solved with the emergence of three-dimensional images that are more realistic and manifest relationships between various organs and systems [30,31]. The 3D technology allows the rotation of the images and in this way a spatial overview of the anatomy of the organ, system or structure can be achieved [32].

Clinical problems or acquired degenerative diseases can be treated with new therapeutic means that are aided by the new technologies [33,34].

The emergence of new software programs applied to scanned images previously obtained by MRI or CT scan allow the creation of three-dimensional models with 3D printers. The creation of these models with this new technology allows its application to treatment of diseases [35,17,36] or its introduction for teaching in universities.

In our study this new technology was applied to create three-dimensional models of jaws in the study of anatomy for students of Health Sciences [37-39]. These models improve the quality of teaching as the access to the bones for the study increases and the bones are not damaged as in the case of real bone samples collected from cemeteries.

5 CONCLUSIONS

The development of new of new technologies and the advancement in the imaging techniques have led to a positive change in teaching methodology. In the medical field, the emergence three-dimensional images and the economically accessible 3D printers accessible economically allow to make models that can be applied in planning surgical interventions in simulated form, to various pathologies such as fractures.

The creation of artificial bones by 3D printers facilitate the students studying human anatomy in different degrees in Health Sciences. The rapid evolution of these 3D printers moment makes it difficult to imagine the changes that their use will occur in the not too distant future.

REFERENCES

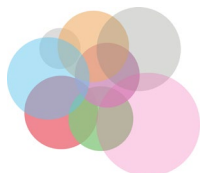
- [1] Arnalich Fernández, F. (2010). Adaptación del nuevo Grado en Medicina al Espacio Europeo de Educación Superior. ¿Cuál ha sido la aportación de Bolonia? *Revista Clínica Española*, 210(9), 462–467. doi:10.1016/j.rce.2010.07.001
- [2] Galán, B. M., & Mateos, D. R. (2012). La Evaluación De La Formación Universitaria Semipresencial Y En Línea En El Contexto Del Eees Mediante El Uso De Los Informes De Actividad De La Plataforma Moodle/(the Evaluation of Blended and on-Line University Teaching and Learning Models in the Context of the European Higher Education Area (ehea) by Means of the Use of Moodle Platform Activity Reports). *Revista Iberoamericana de Educación a Distancia*, 15(1), 159–178.
- [3] López, G., Oña, R. de, Morcillo, L. G., Calvo, F. J., & López, J. de O. (2010). El nuevo rol del alumno como grupo profesor como herramienta para alcanzar algunos de los objetivos perseguidos en Bolonia, 153–158.
- [4] Ahn, J.-Y., Han, K.-S., & Han, B.-S. (2005). Web-based education: characteristics, problems, and some solutions. *International Journal of Innovation and Learning*, 2(3), 274–282. doi:10.1504/IJIL.2005.006370



PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO

- [5] McLachlan, J. C., & Patten, D. (2006). Anatomy teaching: ghosts of the past, present and future. *Medical Education*, 40(3), 243–253. doi:10.1111/j.1365-2929.2006.02401.x
- [6] Sugand, K., Abrahams, P., & Khurana, A. (2010). The anatomy of anatomy: a review for its modernization. *Anatomical Sciences Education*, 3(2), 83–93. doi:10.1002/ase.139
- [7] Biasutto, S. N., Ignacio Caussa, L., & Esteban Criado del Río, L. (2006). Teaching anatomy: Cadavers vs. computers? *Annals of Anatomy - Anatomischer Anzeiger*, 188(2), 187–190. doi:10.1016/j.aanat.2005.07.007
- [8] McLachlan, J. C., & Regan De Bere, S. (2004). How we teach anatomy without cadavers. *The Clinical Teacher*, 1(2), 49–52. doi:10.1111/j.1743-498X.2004.00038.x
- [9] Older, J. (2004). Anatomy: A must for teaching the next generation. *The Surgeon*, 2(2), 79–90. doi:10.1016/S1479-666X(04)80050-7
- [10] Blavier, A., & Nyssen, A. S. (2009). Influence of 2D and 3D view on performance and time estimation in minimal invasive surgery. *Ergonomics*, 52(11), 1342–1349. doi:10.1080/00140130903137277
- [11] Müller-Stich, B. P., Löb, N., Wald, D., Bruckner, T., Meinzer, H.-P., Kadmon, M., ... Fischer, L. (2013). Regular three-dimensional presentations improve in the identification of surgical liver anatomy – a randomized study. *BMC Medical Education*, 13, 131. doi:10.1186/1472-6920-13-131.
- [12] Aggarwal, M., Zhang, J., Pletnikova, O., Crain, B., Troncoso, J., & Mori, S. (2013). Feasibility of creating a high-resolution 3D diffusion tensor imaging based atlas of the human brainstem: A case study at 11.7 T. *NeuroImage*, 74, 117–127. doi:10.1016/j.neuroimage.2013.01.061
- [13] Wakana, S., Jiang, H., Nagae-Poetscher, L. M., van Zijl, P. C. M., & Mori, S. (2004). Fiber Tract-based Atlas of Human White Matter Anatomy. *Radiology*, 230(1), 77–87. doi:10.1148/radiol.2301021640
- [14] Donnelly, L., Patten, D., White, P., & Finn, G. (2009). Virtual human dissector as a learning tool for studying cross-sectional anatomy. *Medical Teacher*, 31(6), 553–555. doi:10.1080/01421590802512953
- [15] Petersson, H., Sinkvist, D., Wang, C., & Smedby, Ö. (2009). Web-based interactive 3D visualization as a tool for improved anatomy learning. *Anatomical Sciences Education*, 2(2), 61–68. doi:10.1002/ase.76
- [16] Brenton, H., Hernandez, J., Bello, F., Strutton, P., Purkayastha, S., Firth, T., & Darzi, A. (2007). Using multimedia and Web3D to enhance anatomy teaching. *Computers & Education*, 49(1), 32–53. doi:10.1016/j.compedu.2005.06.005
- [17] Murphy, S. V., & Atala, A. (2014). 3D bioprinting of tissues and organs. *Nature Biotechnology*, 32(8), 773–785. doi:10.1038/nbt.2958
- [18] Szymor, P., Kozakiewicz, M., & Olszewski, R. (2016). Accuracy of open-source software segmentation and paper-based printed three-dimensional models. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*, 44(2), 202–209. doi:10.1016/j.jcms.2015.11.002
- [19] Martelli, N., Serrano, C., van den Brink, H., Pineau, J., Prognon, P., Borget, I., & El Batti, S. (n.d.). Advantages and disadvantages of 3-dimensional printing in surgery: A systematic review. *Surgery*. doi:10.1016/j.surg.2015.12.017
- [20] Jose, R. R., Rodriguez, M. J., Dixon, T. A., Omenetto, F., & Kaplan, D. L. (2016). Evolution of Bioinks and Additive Manufacturing Technologies for 3D Bioprinting. *ACS Biomaterials Science & Engineering*. doi:10.1021/acsbiomaterials.6b00088
- [21] Marro, A., Bandukwala, T., & Mak, W. (2016). Three-Dimensional Printing and Medical Imaging: A Review of the Methods and Applications. *Current Problems in Diagnostic Radiology*, 45(1), 2–9. doi:10.1067/j.cpradiol.2015.07.009
- [22] Imanishi, J., & Choong, P. F. M. (2015). Three-dimensional printed calcaneal prosthesis following total calcanectomy. *International Journal of Surgery Case Reports*, 10, 83–87. doi:10.1016/j.ijscr.2015.02.037



PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO

- [23] Parthasarathy, J. (2014). 3D modeling, custom implants and its future perspectives in craniofacial surgery. *Annals of Maxillofacial Surgery*, 4(1), 9–18. doi:10.4103/2231-0746.133065
- [24] Otawa, N., Sumida, T., Kitagaki, H., Sasaki, K., Fujibayashi, S., Takemoto, M., ... Matsushita, T. (2015). Custom-made titanium devices as membranes for bone augmentation in implant treatment: Modeling accuracy of titanium products constructed with selective laser melting. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*, 43(7), 1289–1295. doi:10.1016/j.jcms.2015.05.006
- [25] Tam, M. D., Latham, T. R., Lewis, M., Khanna, K., Zaman, A., Parker, M., & Grunwald, I. Q. (2016). A Pilot Study Assessing the Impact of 3-D Printed Models of Aortic Aneurysms on Management Decisions in EVAR Planning. *Vascular and Endovascular Surgery*, 50(1), 4–9. doi:10.1177/1538574415623651
- [26] Zhang, Y., Ge, H., Li, N., Yu, C., Guo, H., Jin, S., Na, Y. (2015). Evaluation of three-dimensional printing for laparoscopic partial nephrectomy of renal tumors: a preliminary report. *World Journal of Urology*, 34(4), 533–537. doi:10.1007/s00345-015-1530-7
- [27] Xiang, N., Fang, C., Fan, Y., Yang, J., Zeng, N., Liu, J., & Zhu, W. (2015). Application of liver three-dimensional printing in hepatectomy for complex massive hepatocarcinoma with rare variations of portal vein: preliminary experience. *International Journal of Clinical and Experimental Medicine*, 8(10), 18873–18878.
- [28] Pujol, S., Baldwin, M., Nassiri, J., Kikinis, R., & Shaffer, K. (2016). Using 3D Modeling Techniques to Enhance Teaching of Difficult Anatomical Concepts. *Academic Radiology*, 23(4), 507–516. doi:10.1016/j.acra.2015.12.012
- [29] Murgitroyd, E., Madurska, M., Gonzalez, J., & Watson, A. (2015). 3D digital anatomy modelling – Practical or pretty? *The Surgeon*, 13(3), 177–180. doi:10.1016/j.surge.2014.10.007
- [30] Hoyek, N., Collet, C., Di Rienzo, F., De Almeida, M., & Guillot, A. (2014). Effectiveness of three-dimensional digital animation in teaching human anatomy in an authentic classroom context. *Anatomical Sciences Education*, 7(6), 430–437. doi:10.1002/ase.1446
- [31] Yamine, K., & Violato, C. (2015). A meta-analysis of the educational effectiveness of three-dimensional visualization technologies in teaching anatomy. *Anatomical Sciences Education*, 8(6), 525–538. doi:10.1002/ase.1510
- [32] Estevez, M. E., Lindgren, K. A., & Bergethon, P. R. (2010). A novel three-dimensional tool for teaching human neuroanatomy. *Anatomical Sciences Education*, 3(6), 309–317. doi:10.1002/ase.186
- [33] Yu, Z. H., Kudchadker, R., Dong, L., Zhang, Y., Court, L. E., Mourtada, F., ... Yang, J. (2016). Learning anatomy changes from patient populations to create artificial CT images for voxel-level validation of deformable image registration. *Journal of Applied Clinical Medical Physics*, 17(1). doi:10.1120/jacmp.v17i1.5888
- [34] Ewers, R., Schicho, K., Undt, G., Wanschitz, F., Truppe, M., Seemann, R., & Wagner, A. (2005). Basic research and 12 years of clinical experience in computer-assisted navigation technology: a review. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 34(1), 1–8. doi:10.1016/j.ijom.2004.03.018
- [35] Kurenov, S. N., Ionita, C., Sammons, D., & Demmy, T. L. (2015). Three-dimensional printing to facilitate anatomic study, device development, simulation, and planning in thoracic surgery. *The Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*, 149(4), 973–979.e1. doi:10.1016/j.jtcvs.2014.12.059
- [36] Kolesky, D. B., Truby, R. L., Gladman, A. S., Busbee, T. A., Homan, K. A., & Lewis, J. A. (2014). 3D Bioprinting of Vascularized, Heterogeneous Cell-Laden Tissue Constructs. *Advanced Materials*, 26(19), 3124–3130. doi:10.1002/adma.201305506
- [37] McMenamin, P. G., Quayle, M. R., McHenry, C. R., & Adams, J. W. (2014). The production of anatomical teaching resources using three-dimensional (3D) printing technology. *Anatomical Sciences Education*, 7(6), 479–486. doi:10.1002/ase.1475
- [38] Huo, J., Dérand, P., Rännar, L.-E., Hirsch, J.-M., & Gamstedt, E. K. (2015). Failure location prediction by finite element analysis for an additive manufactured mandible implant. *Medical Engineering & Physics*, 37(9), 862–869. doi:10.1016/j.medengphy.2015.06.001



PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO

- [39] Suomalainen, A., Stoor, P., Mesimäki, K., & Kontio, R. K. (2015). Rapid prototyping modelling in oral and maxillofacial surgery: A two year retrospective study. *Journal of Clinical and Experimental Dentistry*, 7(5), e605–e612. doi:10.4317/jced.52556



PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO



PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO

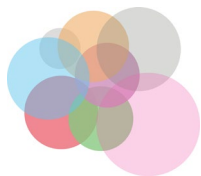
ANEXO II:

PROCESSING AND ADDITIVE MANUFACTURING OF BONES FOR THE TEACHING OF HUMAN ANATOMY



PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO



PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO

Objetivos

En el estudio de Anatomía, la identificación y estudio de los elementos óseos humanos es uno de los conocimientos fundamentales que deben adquirir los alumnos de Ciencias de la Salud. La conservación y almacenamiento de piezas anatómicas humanas requiere de infraestructuras costosas que algunos centros universitarios no disponen.

Teniendo en cuenta esta problemática, la reconstrucción y generación de piezas anatómicas mediante impresoras 3D supone un nuevo recurso didáctico. La obtención de réplicas exactas que conserven los elementos anatómicos y accidentes óseos es el principal objetivo de nuestro trabajo.

Metodología

Se procedió a la digitalización de precisión sin contacto del material óseo, mediante un láser escáner de brazo, modelo FaroArm Scan Platimun. Se obtuvo una nube de puntos de gran precisión y fiabilidad de las piezas óseas. Esta nube de puntos contenía toda la información métrica necesaria del modelo óseo digitalizado, que sirvió para el procesamiento posterior con el software Geomagic Design X; de esta forma, el proceso de mallado por triangulación de puntos de escaneo nos permitió pasar, de un modelo 3D formado únicamente por puntos, a un modelo de malla constituido por pequeños planos poligonales. Después del proceso de reparación y suavizado de las mallas se obtuvo el modelo final para su posterior impresión en 3D.

Una vez concluido este procedimiento, se procedió a la generación del modelo en formato STL (Stereo Lithography). Este formato puede ser leído por la impresora 3D Colido X3045 que incorpora el software "CURA" (de la casa comercial Utimaker), que nos permitió dividir en capas el modelo tridimensional, según un perfil de configuración optimizado.

El material utilizado fue PLA (Ácido Poli-Láctico) y la velocidad de impresión de 40 mm por segundo. El material plástico termoestable, empleado en la impresión 3D, una vez que sufre el proceso de calentamiento fusión, solidifica por láminas dando lugar al modelo final con la dureza y resistencia.



Resultados

En el modelo 3D de la mandíbula que hemos obtenido en nuestro trabajo se distinguen con gran precisión estructuras anatómicas de este hueso en la visión anterolateral la apófisis coronoides y el cóndilo mandibular, entre ambos se sitúa la escotadura mandibular. También se observa con gran precisión el cuerpo, ángulos y ramas mandibulares. Son visibles, en la visión anterior, los agujeros mentonianos. En la cara posterior se observan las espinas mentonianas superiores e inferiores.

El modelo 3D del maxilar obtenido refleja también con gran precisión las características anatómicas de este hueso. Este es un hueso par situado a ambos lados de la línea media de la cara. Se articulan entre sí y forman parte del suelo de la órbita, cara lateral de fosa nasal y superior de la cavidad bucal.

En la cara lateral se observan las prominencias que se corresponden con las raíces dentarias y la eminencia canina que es más marcada.

Esta fiabilidad en la reproducción de las estructuras y relieves anatómicos unidos a la rigidez y dureza de los modelos 3D que hemos obtenido en nuestro trabajo, permite que estos puedan ser utilizados para la docencia de anatomía en las facultades de Ciencias de la Salud.

Conclusiones

El uso prolongado, por parte de los alumnos, de las piezas óseas procedentes de cadáveres para el estudio de anatomía ha deteriorado estas y hace difícil la apreciación de los relieves anatómicos.

La aparición de las impresoras 3D a un precio asequible ha permitido la reproducción muy fidedigna de estas piezas óseas a tamaño real y su uso en el estudio de anatomía en las facultades de Ciencias de la Salud.

La rápida evolución de las nuevas tecnologías y la aparición de nuevos materiales, así como impresoras 3D cada vez más específicas hace difícil imaginar los cambios que se producirán en un futuro cercano.



Processing and additive manufacturing of bones for the teaching of human anatomy

M.T. Ugidos Lozano
Universidad de Salamanca,
Spain
ugidosteresa@yahoo.es

J.A. Juanes Méndez
Universidad de Salamanca,
Spain
jajm@usal.es

C. Molino Díaz
Universidad Politécnica de
Madrid, Spain
c.molino.diaz@gmail.com

S. Manzoor
Universidad Complutense de
Madrid, Spain
smanzoor@ucm.es

G. Ferrer Ugidos
Universidad Europea de Madrid,
Spain
g.ferrerugidos@gmail.com

F. Blaya Haro
Universidad Politécnica de
Madrid, Spain
fernando.blaya@upm.es

ABSTRACT

Traditionally, the teaching of human anatomy in health sciences has been based on the use of cadaveric material and bone parts for practical study. The bone materials get deteriorated and hardly mark the points of insertion of muscles. However, the advent of new technologies for 3D printing and creation of 3D anatomical models applied to teaching, has enabled to overcome these problems making teaching more dynamic, realistic and attractive. This paper presents some examples of the construction of three-dimensional models of bone samples, designed using 3D scanners for posterior printing with addition printers or polymer injection printers.

CCS Concepts

- Human-centered computing→Human computer interaction (HCI)
- Life and medical sciences→Health care information systems
- Life and medical sciences→Health informatics

Keywords

Teaching, Human Anatomy, 3D reconstruction, anatomical parts, 3D printing.

1. INTRODUCTION

The study of human anatomy remains one of the basic pillars in the training of medical students and other courses in Health Sciences. Students learn to recognize the major human anatomical structures in order to achieve knowledge about the macroscopic structure of the human body. These skills also enable them to study other subjects of the degree and ensure their development in their professional life afterwards [1-3].

Within the study of anatomy, identification and study of human bones is of fundamental importance that students of Health

Sciences should acquire. Traditionally, atlas and original bones from cadavers are used as teaching resources and supporting material for teaching anatomy [4]. However, these methods exhibit several limitations such as the deterioration of the bone material coming from cadavers with the passage of time and prolonged use by the students during the practical lessons, and in not presenting important anatomical reliefs that the students must know [4-6]. Moreover, the collection and use of cadavers for teaching purposes is sometimes costly, scarce and problematic. Conservation and storage of human anatomical parts require costly infrastructure that some universities cannot afford to install. This limits their access to these natural resources for the study of human anatomy and eventually causes problems to teach anatomy in the degrees of Health Sciences [7].

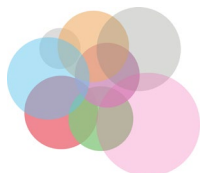
Taking into account these limitations, the reconstruction and fabrication of these anatomical parts using 3D printers offers a new teaching resource material that is serving very useful to address these problems [8]. So far, existing techniques for achieving human bone parts for academic purposes do not provide the samples of the required quality [9]. Obtaining exact replica that preserve the anatomical details and bone projections and elevations is the main objective of our work. We have reproduced the stomatognathic system, with replica of mandible, upper maxillary jaw and dentition of an adult male, for use in the study of anatomy in the degrees of medicine and dentistry.

2. MATERIALS AND METHODS

The procedure begins with the digitalization of the bones without involving any physical contact with the bone material, using a laser scanner arm FaroArm Scan Platimun model (Figure 1), through which a cluster of points with high accuracy and precision were obtained for the bones (Figure 2). These cluster of points were then converted into a mesh format by a specific digitalization software. After repairing and smoothing the meshes, the final model for later printing in three dimensions was obtained.

This scanner allows capturing the cluster of points with a high throughput for the points acquisition at a high resolution with an accuracy of +35 μm . Due to the difficulty in accessing all parts and surfaces of the bones and their geometric complexity, the preparation of specific tools for clamping were required in order to obtain multiple point clouds in different positions for subsequent alignment and processing. The cluster of points resulting from our model consisted of millions of points, referenced to a system of local coordinates, that represented

Permission to make digital or hard copies of all or part of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. Copyrights for components of this work owned by others than ACM must be honored. Abstracting with credit is permitted. To copy otherwise, or republish, to post on servers or to redistribute to lists, requires prior specific permission and/or a fee. Request permissions from Permissions@acm.org.
TEEM'16, November 02-04, 2016, Salamanca, Spain
© 2016 ACM. ISBN 978-1-4503-4747-1/16/11...\$15.00.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1145/3012430.3012569>



PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO

Fourth International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality – TEEM'16

geometric and dimensional precision to model the bones (Figure 2).



Figure 1. Digitalization of bones by the scanner (model FaroArm Scan Platinum)

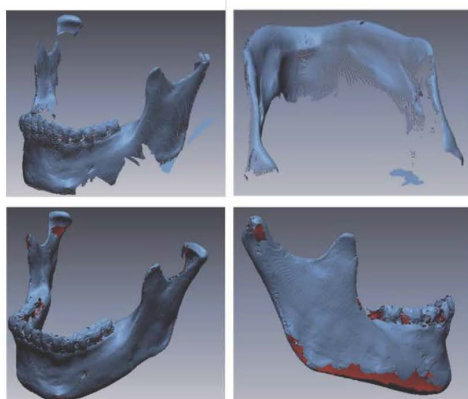


Figure 2. Cluster of points and the mesh model

Furthermore, these clustered points contained all the necessary metric information to model the digitalized bones that served for their posterior processing with the Geomagic Design X software (Figure 3). In this way, the process of meshing by triangulation of points allowed us to transform a 3D scanned model, composed of points and mesh model consisting of small polygonal planes. The processing of mesh required the following steps: elimination of surface noise, error correction due to overlapping, closing holes, smoothing surfaces and mesh optimization for additive manufacturing. Afterwards, the process continued with the generation of the model in .stl format (STereo Lithography).

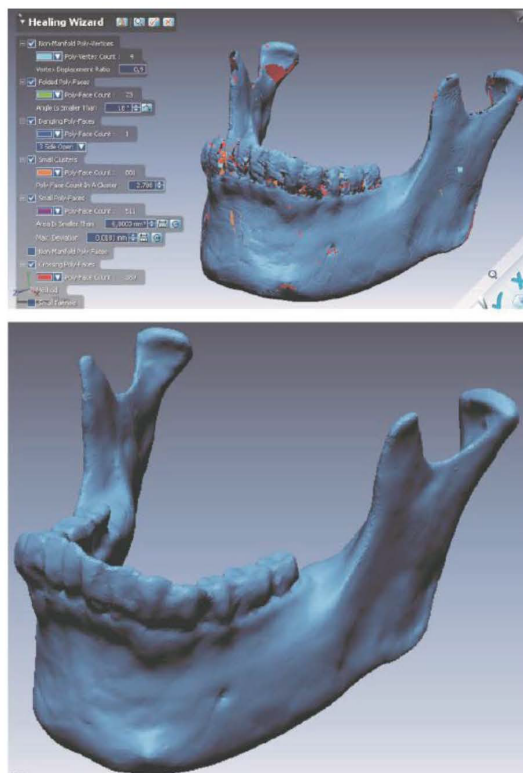
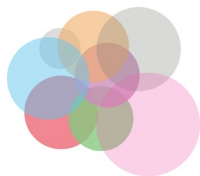


Figure 3. Repairing of the errors and final mesh model produced by Geomagic Design X software

The Geomagic Design X software allows importing more than 60 formats and allows combining data from computer-aided design (CAD) with the processed 3D scan data, in order to create solid and editable models, such as bone structures. Design X is built on a CAD Kernel (Parasolid) that gives you the flexibility to make real CAD models in the desired manner. From the obtained model, the additive manufacturing by successive overlapping of micrometric layers of the polymeric material was performed. The software "CURA" (Ultimaker) shown in Figure 4, allowed us to divide the three-dimensional model into layers, according to an optimized configuration profile. The lamination process transferred the digital design to 3D STL format (STereo Lithography) creating thin layers in a two-dimensional plane that was read by the printer. After stacking these layers, the object was created. This process was performed through mathematical calculations by the software generating G-Code. This code is generated automatically, however, changes can be introduced. Once the paths are calculated and commands generated, it is transmitted to the printer where the process of creation of anatomical bone materials is started.



PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO

Processing and additive manufacturing of bones for the teaching of human anatomy

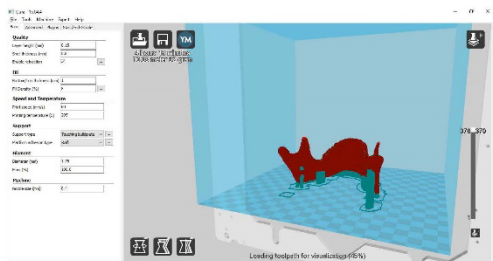


Figure 4. Preview of the printed image of Cura Software (Ultimaker)

The material used was PLA (Polylactic acid) and the print speed was 40 mm/s. Once this thermostable plastic material, used in 3D printing suffered heating-melting, it was solidified in layers giving the final model with required strength and hardness. The machine used in the fabrication process was a 3D compact printer, COLIDO brand and X3045 model (Figure 5).



Figure 5. 3D Printer, Colido X3045 used in the additive fabrication of bones

3. RESULTS

In the 3D model obtained in our work, the anatomical structures of the bone material can be distinguished with a high precision such as the antero-lateral view of the coronoid tubercle, mandibular condyle and between them lies the mandibular notch. The condyle articulates with the temporal bone to form the temporomandibular joint located in front of the ear canal. The body of the bone, angles and mandibular projections can be observed clearly. In the anterior view, mental foramina holes are visible showing the exit points of mental nerves that innervate the anterior mandibular region. On the dorsal side, upper and lower mental spines (genial tubercles) can be observed, where the mylohyoid line for insertion of the mylohyoid muscle arise [6, 10].

On the dorsal side, four overlapping small protrusions, two right and two left, can be seen in the middle and near the bottom which are the upper and lower mental spines (genial tubercles). The upper spines give attachment to the genioglossus muscles and the lower spines to geniohyoid muscles. Commonly, inferior mental spines, and sometimes four tubercles merge into one [10, 11]. From the mental spines arise the mylohyoid line which goes above and end posteriorly in the mandibular branch forming the medial lip of its leading edge that serves for the insertion of

mylohyoid muscle. Below it is a narrow groove called mylohyoid groove through which the vessels and nerves pass [11]. 3D model of maxilla obtained also reflected high precision of the anatomical features. This bone is a pair located on either side of the midline of the face, articulated to each other and form part of the floor of the orbit, lateral side of nasal fossa and upper face of the oral cavity. It is a voluminous and light bone because in its interior lies the maxillary sinus [10].

On the lateral side, the projections corresponding to the canine tooth roots can be observed prominently. Similarly, the zygomatic process can be seen located at a higher position than the dental prominences [10]. Figures 6 and 7 show the difference between cranium and mandible that are much deteriorated which is very common in the departments of anatomy, and later a reconstruction and 3D printing of the same anatomical structures. This reliability in the reproduction of anatomical structures and elevations combined with the rigidity and hardness of 3D models that was obtained in our work, allows that these models can be used for teaching anatomy in the faculties of Health Sciences

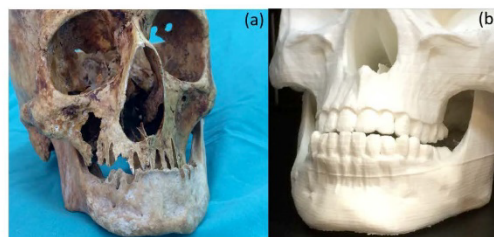


Figure 6. a) Cranium from the cadaver b) 3D model of cranium obtained in our work

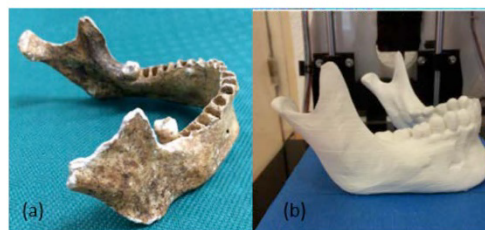
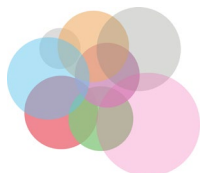


Figure 7. a) Mandible from the cadaver b) 3D mandible developed in our work

4. DISCUSSION

The conventional method of teaching human anatomy in Health Sciences has based on the use of books and atlas with two-dimensional images, as well as cadaver dissection and study of bones from corpses [12, 13]. The undergraduate students find it difficult to extrapolate and understand the 2D images of three-dimensional original bodies because of their inexperience and lack of anatomical knowledge of the human body [14]. Moreover, the process of students' learning is affected due to the deteriorated original bones, disappearance of anatomical details and lack of bones for all students. The emergence of new virtual technologies applied to teaching anatomy along with the development of 3D images has allowed obtaining more realistic approach for the study of bones as well as observing the structural and anatomical relations existing between them [15, 16]. Improvement in the results have been achieved in the undergraduate courses when the



PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO

Fourth International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality – TEEM'16

study of anatomy was combined with new imaging and dissection techniques, as has been demonstrated by some universities [17].

In recent times, methods based on the 3D printing of body parts have been developed that utilize Computerized Tomography (CT) based images [18] or surface scanned images [19]. Currently there exists the technology that transforms these images into three-dimensional replica of body parts or human dissections to employ in teaching anatomy [18, 20]. McMenamin and colleagues have worked extensively with body parts, magnifying them for teaching purposes [21].

In our work, the developed anatomical models of bones obtained by the laser scanner arm, FaroArm Scan Platimun model and subsequent printing by 3D compact printer COLIDO brand and X3045 model were full-scale and presented the anatomical projections and elevations with great reliability. The material used to make bone pieces was PLA (Polylactic acid). As a thermoset plastic material, after heating-fusion processes it acquired high rigidity and hardness. The resulting bone pieces were suitable for the students to handle and work with them. The ease in reproducing the models solves the problems of availability of these bones for training the students in the faculties of Health Sciences.

5. CONCLUSIONS

The prolonged use of bones from cadavers by students to study anatomy deteriorates them making it difficult to retain and show the anatomical contours. However, the emergence of 3D printers at an affordable price allows a reliable reproduction of these bones in their original form and size. This 3D printing technology therefore offers an excellent means to teach and study anatomy in the faculties of Health Sciences. The rapid development of new technologies and new materials as well as advancement in 3D printers, which are becoming more problem specific, makes it beyond thinking about the amazing changes that would be introduced in this field in the future.

6. REFERENCES

- [1] Collipal Larre, E. and Silva Mella, H. 2011. Estudio de la Anatomía en Cadáver y Modelos Anatómicos: Impresión de los Estudiantes. *Int J Morphol* 29, 4, 1181-1185.
- [2] Guiraldes, H., Oddó, H., Mena, B., Velasco, N., and Paulos, J. 2001. Enseñanza de la anatomía humana: experiencias y desafíos en una escuela de medicina. *Rev Chil Anatomía* 19, 2, 205-212.
- [3] Rodríguez Ruiz, H. M., Mendoza, D. Z. U., and Gualdrón, A. J. 2010. Conocimientos, sentidos y actitudes en relación con la anatomía en estudiantes de segundo año de Medicina. Universidad Nacional de Colombia. 2009. *Rev Fac Med* 58, 4.
- [4] Inzunza, O., Caro, I., Mondragón, G., Baeza, F., Burdiles, A., and Salgado, G. 2015. Impresiones 3D, Nueva Tecnología que Apoya la Docencia Anatómica. *Int J Morphol* 33, 3, 1176-1182.
- [5] Narváez-Hernández, E. and Murillo-Rábago, E. I. 2014. Herramientas de estudio utilizadas por alumnos de ciencias de la salud en la materia de Anatomía. *Investig En Educ Médica* 3, 12, 204-208.
- [6] Villarroel Guerra, M. and Medina Otazo, E. 2011. Técnica Anatómica para Restaurar y/o Reproducir Piezas Óseas Humanas de Difícil Obtención, para la Investigación y Docencia Científica. *Int J Morphol* 29, 2, 532-6.
- [7] McLachlan, J. C., Bligh, J., Bradley, P., and Searle, J. 2004. Teaching anatomy without cadavers. *Med Educ* 38, 4, 418-424.
- [8] Marro, A., Bandukwala, T., and Mak, W. 2016. Three-Dimensional Printing and Medical Imaging: A Review of the Methods and Applications. *Curr Probl Diagn Radiol* 45, 1, 2-9.
- [9] Ibrahim, D., Broilo, T. L., Heitz, C., de Oliveira, M. G., de Oliveira, H. W., Nobre, S. M. W., et al. 2009. Dimensional error of selective laser sintering, three-dimensional printing and PolyJet™ models in the reproduction of mandibular anatomy. *J Cranio-Maxillofac Surg* 37, 3, 167-173.
- [10] Moore, K. L. and Dalley, A. F. 2009. *Anatomía con orientación clínica*. Médica Panamericana.
- [11] Solano Mendoza, P. and Bascones Martínez, A. 2014. Consideraciones anatómicas durante la cirugía periodontal. *Av En Periodoncia E Implantol Oral* 26, 1, 11-17.
- [12] Aziz, M. A., McKenzie, J. C., Wilson, J. S., Cowie, R. J., Ayeni, S. A., and Dunn, B. K. 2002. The human cadaver in the age of biomedical informatics. *Anat Rec* 269, 1, 20-32.
- [13] Sugand, K., Abrahams, P., and Khurana, A. 2010. The anatomy of anatomy: a review for its modernization. *Anat Sci Educ* 3, 2, 83-93.
- [14] Inzunza, O., D'Acuña, E., and Bravo, H. 2003. Evaluación práctica de anatomía. rendimiento de los alumnos de primer año de medicina ante distintas formas de preguntar. *Int J Morphol* 21, 2, 131-136.
- [15] Maschio, F., Pandya, M., and Olszewski, R. 2016. Experimental Validation of Plastic Mandible Models Produced by a «Low-Cost» 3-Dimensional Fused Deposition Modeling Printer. *Med Sci Monit Int Med J Exp Clin Res* 22, 943-957.
- [16] Ruisoto, P., Juanes, J. A., Contador, I., Mayoral, P., and Prats-Galino, A. 2012. Experimental evidence for improved neuroimaging interpretation using three-dimensional graphic models. *Anat Sci Educ* 5, 3, 132-137.
- [17] Winkelmann, A. 2007. Anatomical dissection as a teaching method in medical school: a review of the evidence. *Med Educ* 41, 1, 15-22.
- [18] Brunello, G., Sivoilella, S., Meneghello, R., Ferroni, L., Gardin, C., Piattelli, A., et al. Powder-based 3D printing for bone tissue engineering. *Biotechnol Adv* 34, 5, 740-753.
- [19] Watson, J., Hatamleh, M., Alwahadni, A., and Srinivasan, D. 2014. Correction of Facial and Mandibular Asymmetry Using a Computer Aided Design/Computer Aided Manufacturing Prefabricated Titanium Implant. *J Craniofac Surg* 25, 3, 1099-1101.
- [20] Mulford, J. S., Babazadeh, S., and Mackay, N. 2016. Three-dimensional printing in orthopaedic surgery: review of current and future applications. *ANZ J Surg* 86, 9, 648-653.
- [21] McMenamin, P. G., Quayle, M. R., McHenry, C. R., and Adams, J. W. 2014. The production of anatomical teaching resources using three-dimensional (3D) printing technology. *Anat Sci Educ* 7, 6, 479-486.



PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO

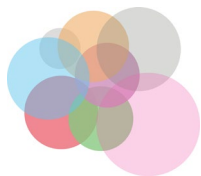
ANEXO III:

CREACIÓN DE MATERIAL ÓSEO, MEDIANTE FABRICACIÓN ADITIVA, COMO COMPLEMENTO Y APOYO A LA DOCENCIA DE LA ANATOMÍA HUMANA



PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO



PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO

Objetivos

Generación de estructuras óseas craneales, mediante impresoras 3D, con fines docentes.

El uso y la manipulación prolongada, por parte de los alumnos de las clases de anatomía humana, de las piezas óseas procedentes de cadáveres para el estudio morfológico lleva al deterioro del material óseo y hace difícil la apreciación de los relieves anatómicos. Por ello se pretende recrear y replicar material óseo de calidad para la docencia de la anatomía humana.

Métodos:

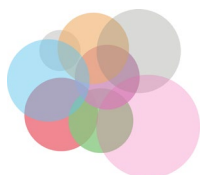
Se digitalizó el material óseo, mediante un láser escáner de brazo, modelo FaroArm Scan Platimun, a través del cual se consiguió una nube de puntos de gran precisión y fiabilidad de las piezas óseas a desarrollar. Para la impresión de los prototipos anatómicos se empleó la impresora 3D modelo ColiDo™ X3045, de adición de polímeros, utilizando materiales plásticos termoestables que tras el proceso de calentamiento-fusión y su posterior formación-solidificación, se convirtieron en estructuras rígidas. El software Geomagic Design X se utilizó para la reparación de la malla final. Se utilizó el software Cura, para la fabricación adictiva.

Resultados

La reconstrucción 3D de los huesos craneales, permitió imprimirlos para valorar su morfología en toda su integridad, facilitando la identificación de todos los detalles anatómicos que presentan.

Conclusiones

La impresión 3D ha permitido la reproducción fidedigna de piezas óseas a tamaño real, proporcionando material didáctico de gran precisión para ser manipulado y observado por los alumnos de las clases de Anatomía Humana.



PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO



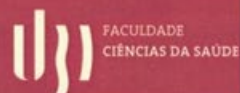
Certificado

A Comissão Organizadora certifica que o trabalho

Creación de material ósseo, mediante fabricación aditiva, como complemento y apoyo a la docência de la anatomía humana

M.T. Ugidos Lozano, F. Blaya Haro, J.A. Juanes Mendez

foi apresentado na forma de poster no 2º Congresso Nacional de Investigação em Educação Médica, realizado na Faculdade de Ciências da Saúde da Universidade da Beira Interior, Covilhã, no dia 19 de novembro de 2016.



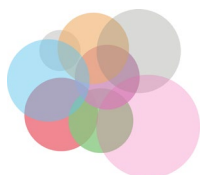


PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO

ANEXO IV:

FAST SCANNING TECHNOLOGY AND 3D PROTOTYPE OF
BONES FOR TEACHING PURPOSE



PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO



PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO

Objetivos

Subsanar los problemas que surgen por el uso continuado y el deterioro progresivo de estas piezas óseas, en las facultades de Ciencias de la Salud.

La obtención de unos modelos óseos 3D fácilmente reproducibles, a un precio asequible y con una calidad que permita la identificación de los relieves anatómicos a una escala real para el estudio de anatomía por parte de los estudiantes de Ciencias de la salud.

Metodología

Empleamos como dispositivo de digitalización del cráneo, el escáner 3D de mano, modelo Artec Eva con una capacidad de procesamiento de hasta dos millones de puntos, una resolución cercana a 0,1mm y una precisión hasta 0,05mm, lo que permitió realizar modelos 3D de forma rápida, precisa y alta resolución. Entre las especificaciones más relevantes a tener en consideración destacan: una resolución de texturas: 1.3m, campo de visión angular: 30x21°. Para la estabilidad del cráneo a la hora de ser escaneado se utilizó como estación de trabajo un equipo portátil modelo Dell Latitude E5440.

El software Artec Studio 3D que incorpora este escáner de mano permitió, además, incrementar su flexibilidad, al poder integrarse, sin inconveniente, con los programas CAD, Systems Geomagic Design X para el procesamiento del modelo anatómico. Este software nos permitió trabajar con mallas poligonales y exportar al formato STL que fue leído por la impresora 3D Colido. Como características técnicas esta impresora presenta una resolución de capa de hasta 0,1 mm y un diámetro de extrusor de 1,75 mm. Se imprimieron los modelos óseos tridimensionales sólidos mediante la fusión de filamentos de PLA (*PolyLactic Acid*). Los modelos que obtuvimos en nuestro trabajo tienen una gran calidad de acabado.

Resultados

Los modelos 3D del sistema estomatognático obtenidos por la técnica de adición, en nuestro trabajo, presentan una alta definición de los detalles anatómicos



PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO

El principal aporte desde el punto de la metodología fue el proponer una técnica eficiente y versátil para obtener modelos 3D tangibles y apropiados para el estudio anatómico partiendo de imágenes obtenidas por escaneo de las piezas óseas.

El tratamiento de las imágenes del escaneado con el software Artec Studio y la combinación con el software Geomagic Desing 3D, permitió la creación de mallas poligonales y alineamiento de las nubes de puntos, así como, la eliminación de ruidos, consiguiendo diseños a escala real 1:1 del modelo inicial

La elección del material elegido para la impresión el PLA (ácido poliláctico) nos permitió conseguir modelos 3D de una dureza y calidad adecuadas para su uso en la docencia de anatomía.

La combinación de los medios elegidos para la fabricación de nuestros modelos permitió conseguir modelos 3D de bajo costo y la posibilidad de un mayor acceso de los estudiantes de anatomía a estos modelos 3D para su estudio.

Conclusiones

La precisión de los detalles anatómicos que se observaron en las piezas óseas obtenidas con la técnica de adición, en impresoras 3D con tecnología FDM, permitió que se valore como una buena alternativa a las piezas óseas obtenidas de cadáveres, en el estudio de anatomía en las diferentes titulaciones de Ciencias de la Salud.

La fabricación de nuevas impresoras 3D más precisas y a un precio más asequible, así como la evolución de los programas informáticos que facilitan el uso de estas, hace pensar en una implementación cada vez más amplia en los ámbitos de la industria, educación y la medicina. Sera la aparición de los nuevos biomateriales los que generen, probablemente, los mayores avances en la aplicación medica de esta nueva tecnología.



FAST SCANNING TECHNOLOGY AND 3D PROTOTYPE OF BONES FOR TEACHING PURPOSE

M.T. Ugidos Lozano¹, F. Blaya Haro², J.A. Juanes Mendez¹

¹ Universidad de Salamanca (SPAIN)

² Universidad Politécnica Madrid (SPAIN)

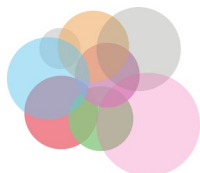
Abstract

The goal of this study is to generate digital bone replicas, using a handheld 3D scanner, in order to serve for morphological analysis, better conservation and restoration of various bones. Three-dimensional digitalization of bone pieces was carried out using the non-contact technique, based on the emission of signals that scanned the surface of the original bone piece. After scanning, the noise corresponding to digital distortions manifested in small edges of the original object was eliminated. Due to difficulty in having all bones required for the teaching and practical training in human anatomy as well as deterioration of many of these bones has motivated us to use this new technology to construct bone models for students of different degrees in health sciences. Thanks to Rapid Prototyping Technologies (RPT), we have achieved digital printing of anatomical models, in three dimensions, from a real image or piece, through the process known as stereolithography. This fast manufacturing is based on the deposition of thermoplastic materials by layers, planes or sections, until obtaining the final piece, hence called additive technology. We used the 3D scanning device, Artec Eva model, with a processing capacity of 40,000,000 triangles/1 GB RAM, allowing 3D models to be manufactured in a fast and precise way with fine texture and high-resolution models. We used Dell Latitude E5440 laptop as a workstation, and the Artec Studio 10 scanning software for data processing, which is equipped with a large battery of tools to manage the scanned 3D models. In addition, Geomagic Desining 3D software was used to process the anatomical model, which allowed us to work with polygonal meshes and point cloud alignment. This software allowed modifying the designs, to eliminate the damaged geometry, to adjust dimensions, among many other possibilities and options. The 3D printing process was carried out on a Colido X3045 3D model printer. Solid three-dimensional bone models were printed by melting PLA (PolyLactic Acid) ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene) filaments. Using the computer software "Repetier-Host" of the printer, the design 3D files were converted into commands to be printed. The printer heats the filament, pushes it towards the extruder to get Fused Deposition Modeling. The generation of artificial bone materials by 3D printers makes it easier for students to study the bone morphology, with all the anatomical details. In this way, digital images have been reproduced by 3D printers, with all the morphological details, such as points of muscle insertion or other anatomical features in small bones that are not optimally visualized in real pieces. On the other hand, in the near future, these techniques will allow the design of anatomical models that would serve useful in reconstructive surgery. Therefore, in the future the studies will be focused on the creation of biomaterials that are useful for these interventions

Keywords: digital bone 3D replicas, stereolithography, 3D printing, Anatomy teaching.

1 INTRODUCTION

The new technologies incorporated in the process of learning anatomy in the faculties of health sciences are an enriching element and lead to an improvement in the understanding of students about the necessary details needed to be known [1,2]. The bony pieces used by the students for the anatomy study are traditionally come from cadavers. Using our method, these bony pieces can be obtained by 3D impression [3]. This has been possible because of the appearance of Rapid Prototyping Technologies (RPT), which allow the creation of real-size 3D models, starting with images [4] or original bones, using 3D printers and the application of additive technology. This has offered the students an easier access to anatomical bone models [5]. The manufacture of 3D printers at an affordable price and an easy access to the materials for the additive phase have helped making the manufacture of 3D bone models feasible for use in the study of anatomy [5]. The motivation behind this work has been to solve the problems that arise from the continuous use and progressive deterioration of the bone pieces in the faculties of Health Sciences. In addition, obtaining easily reproduced 3D bone models, at an affordable price and with a quality that allows the identification of



PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO

the anatomical reliefs to a real scale [6], to be used for the study of anatomy by the students of Health Sciences.

2 MATERIALS AND METHODS

3D handheld scanner, Artec Eva (Fig. 1 a, b & c), with a processing capacity of 40000000 triangles/1 GB RAM was used to enable obtaining 3D models quickly, accurately with fine texture and a high resolution. The most relevant specifications needed to be considered are; 3D resolution: 0.5 mm, 3D precision points: 0.1 mm, Texture resolution: 1.3mp, Data acquisition speed: 2 million points per second, Field of angular view: 30x21°. A laptop of model Dell Latitude E5440 was used as a workstation.

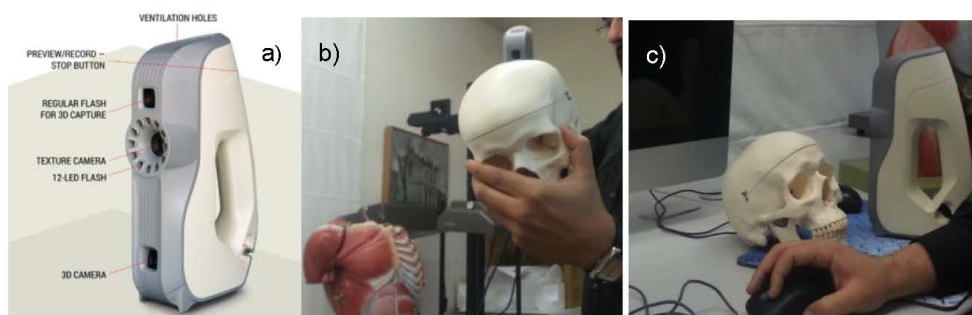


Figure 1. a) Handheld scanner, model Artec Eva, used in the study b) skull to be modelled c) Manual scanning of the skull with the Artec Eva device.

The software used for the scanning of skull was Artec Studio 10 (Fig. 2), which is equipped with a large set of tools to manage scanned 3D models. Artec Studio 3D is designed to be used with professional 3D handheld scanners. This software offers a simple and fast post-processing without affecting the precision or accuracy of the piece to be modeled, which in our case was a skull (Fig. 3). It instinctively selects the most effective 3D algorithms for the data obtained that resulted in the generation of a high-precision 3D skull model. On the other hand, Artec 3D accelerates the workflow by being able to automatically erase the base on which the skull was scanned and aligns the scanned data with excellent accuracy. Models can be further modified with a few clicks employing easy to use geometry editing tools. With Artec's improved real-time merge mode, users are able to move the scanner around an object and view the model while it is being built.



Fig. 2. Artec 3D Studio software used for Artec Eva handheld scanner.



PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO

Artec 3D Studio software also allows to increase the flexibility to work for users, being able to integrate easily with computer-aided design (CAD) software and 3D Systems Geomagic Design X.

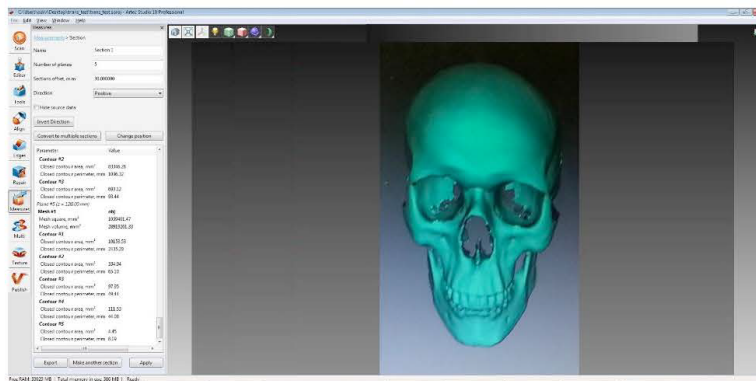


Fig. 3. User interface of the Artec 3D Studio software, for the post-processing of the scanned bone piece.

3D Geomagic Designing software was also used to process the anatomical model, which allowed working with polygonal meshes and point cloud alignment (Fig. 4). This software also allowed modifying the designs, eliminating the damaged geometry and adjusting dimensions, among many other possibilities.

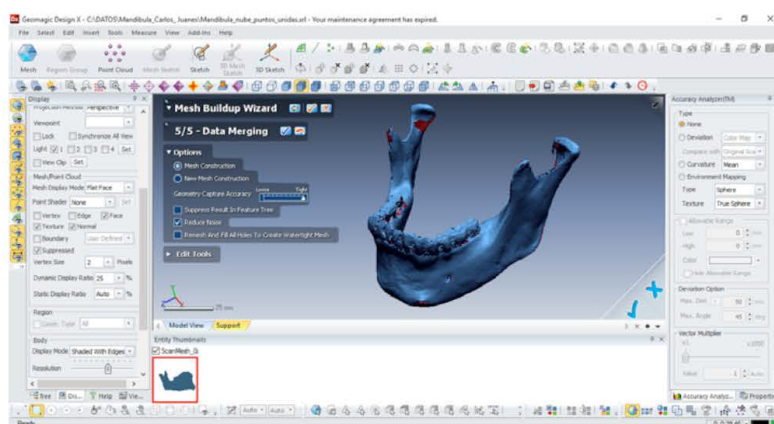


Fig. 4. User interface of the 3D Geomagic Design software for the processing of meshes and clouds of points of the bone piece.

The CoLiDo X3045 3D Printer (Fig. 5a & b) integrates a single extruder double filament exchanger that allows to achieve high quality designs. It has a layer resolution of up to 0.1 mm and the diameter of extruder is 1.75 mm which results in an excellent quality, fine finishing and a good definition in the anatomical details in the printing of the skull. Using the printer's "Repetier-Host" software (Fig. 5c), the 3D skull model was converted into commands to be printed.

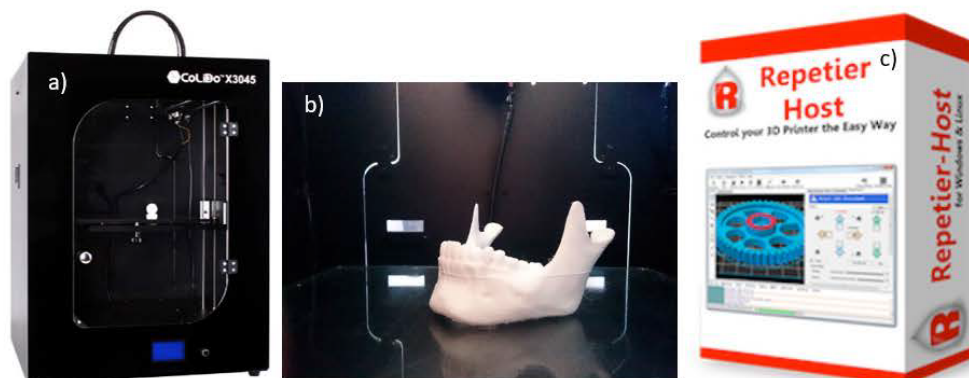
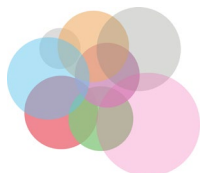


Fig. 5. a) 3D printer, CoLiDo X3045 model, used in the study b) 3D printing of the jaw with the CoLiDo X3045 printer c) Repeater-Host software of the CoLiDo printer, to convert the 3D files of the skull for printing.

Solid three-dimensional bone models were printed by melting PolyLactic Acid (PLA) and Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS) filaments. PLA is a thermoplastic polymer (Fig. 6a), which apart from being one of the materials most used for 3D printing, has the advantage of being biodegradable because of its natural origin (corn starch), the total degradation time being a couple of years. It is currently used in a number of biomedical applications, such as sutures, stents, dialysis media, and drug delivery devices and are being evaluated as material for tissue and bone engineering.

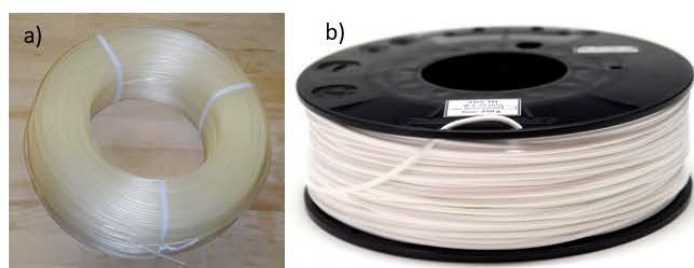


Fig. 6. a) Thermoplastic polymer PolyLactic Acid (PLA) used for the printing of bone pieces b) Thermoplastic ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene)

Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS) is a thermoplastic polymer that can be painted (Fig. 6b). Its robustness, flexibility, easy mechanization and greater resistance to temperature often make it the preferred plastic for engineers and professional applications. It is more resistant than PLA and has a higher melting point but has a disadvantage of being non-biodegradable. ABS is soluble in acetone, which means that it can be cleaned with the material used to smooth any irregularities or imperfection. Acetone has no effect on PLA but generally, PLA produces softer impressions from scratch.

3 RESULTS

The 3D models of the stomatognathic system obtained by the addition technique in this work present highly defined anatomical detail. In the model of the mandible, it is possible to identify anatomical details such as the mylohyoid line in the posterior region, coronoid process and mandibular condyle. In the maxilla, it is possible to observe its articulation with the mandible through the temporomandibular joint as well as its union with the bones of the skull and the suture between the two jaws. Anatomical structures such as the maxillary sinuses, canine eminence and zygomatic process are easily identifiable. The main contribution from the point of the methodology was to propose an efficient and versatile technique to obtain tangible 3D models suitable for the anatomical study using the images obtained by scanning the bone pieces.



PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO

The treatment of the images obtained by scanning with the Artec Studio software and the combination with the software Geomagic Design 3D, allowed the creation of polygonal meshes and alignment of the points cloud as well as the elimination of noise, obtaining design in 1:1 real scale of the initial model. The 3D Colido X3045 printer, which has implemented the "Repetier-Host" software, converted 3D files into printable commands. The choice of the material chosen for printing i.e. PLA allowed us to obtain rigid and high quality 3D models that are suitable for use in teaching anatomy. The combination of the chosen means for the manufacture of our models allowed to obtain 3D models of low cost and the possibility of greater access of the students of anatomy to these models 3D for its study.

4 DISCUSSION

The additive fabrication, which was initially called Rapid Prototyping, is a new technique that allows the creation of a physical model through the placement of successive layers of material and originates from the development of a virtual model in a CAD program [7]. The first additive manufacturing techniques emerged in 1987 presented by 3D Systems company from U.S.A through the process of stereolithography [8]. Subsequently new patents appeared from different parts of the world with different versions of stereolithography. Among them the company "Stratasy" created another technology called "Fused Deposition Modeling (FDM)" [9] that allowed the production of more economical 3D models. This offered the benefit of a greater diffusion of its use in different fields, including industry [10], archeology [11], medicine [12,13], education [14,15].

In the field of medicine, the introduction of high quality and easily reproducible 3D models is recent and is opening new prospects in research [16], such as preoperative planning, surgical training [16] and the manufacture of biomaterials [17]. The printing of tissues and organs by the method called Bioprinting 3D [18,19] has been shown to be effective in the manufacture of bones and blood vessels [20,21]. In other specialties such as ophthalmology [22,23], orthopedics [24], urology [12] and otolaryngology the concept of 3D printing is however relatively new.

At the cranial level, the use of 3D printing is used for the prior preparation for the surgery of bone tumors, accidents and aplasia. Furthermore, it is used for improving the results and reducing subsequent complications [25] in these cases. In the field of dentistry [26,27], this technique is used in almost all of its specialties, i.e. orthodontics, surgery, malformations, temporomandibular joint. The 3D models of teeth are also intended to be a learning tool, which can be used in combination or replacement of dental pieces, obtained from teeth extractions, for the study of dental anatomy in dentistry faculties [28]. In our work, the creation of skeletal models of the stomatognathic 3D device facilitates the access of the students of anatomy to the bones offer a better learning. The material that we have used for the creation of these bony pieces is the PLA. This material guarantees obtaining bone pieces of the quality that allows identifying the anatomical structures and their easy use by the students of Health Sciences.

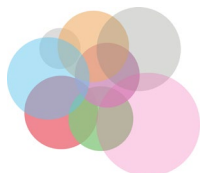
There also exist other biomaterials that are used in the manufacture of prostheses and organ replacement materials [29,30,31]. According to the Second Consensus Conference on definitions in Biomaterials, a biomaterial is defined as: "A material designed to interact with biological systems to evaluate, treat, increase or replace any tissue, organ or function of the body. In recent years, the development of new biomaterials that meet specific requirements and can be adapted to different clinical applications [32,33] is being developed.

5 CONCLUSIONS

The precision of the anatomical details observed in the bone pieces obtained with the addition technique in 3D printers with FDM technology allows it to be valued as a good alternative to bone pieces obtained from cadavers, in the study of anatomy in Faculties of Health Sciences. The production of new, more accurate and more affordable 3D printers, as well as the evolution of the software that facilitates the use of these printers, suggests an ever-wider implementation of this technique in industry, education and medicine. The appearance of new biomaterials will probably generate the greatest advances in the medical application of this new technology.

REFERENCES

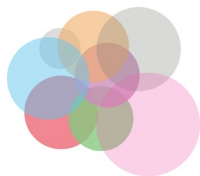
- [1] M. Hansen, Versatile, Immersive, Creative and Dynamic Virtual 3-D Healthcare Learning Environments: A Review of the Literature, J. Med. Internet Res., 10 e26, (2008).



PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO

- [2] L. Briz Ponce, J.A. Juanes Méndez, F.J. García-Peñalvo, Analysis of mobile devices as a support tool for professional medical education in the university school, (2014).
- [3] P.G. McMenamin, M.R. Quayle, C.R. McHenry, J.W. Adams, The production of anatomical teaching resources using three-dimensional (3D) printing technology, *Anat. Sci. Educ.*, 7, 479–486, (2014).
- [4] M. McGurk, A.A. Amis, P. Potamianos, N.M. Goodger, Rapid prototyping techniques for anatomical modelling in medicine, *Ann. R. Coll. Surg. Engl.*, 79, 169–174, (1997).
- [5] Y. AbouHashem, M. Dayal, S. Savanah, G. Štrkalj, The application of 3D printing in anatomy education, *Med. Educ. Online*, 20 (2015).
- [6] K.H.A. Lim, Z.Y. Loo, S.J. Goldie, J.W. Adams, P.G. McMenamin, Use of 3D printed models in medical education: A randomized control trial comparing 3D prints versus cadaveric materials for learning external cardiac anatomy, *Anat. Sci. Educ.*, 9, 213–221, (2016).
- [7] R. Bibb, J. Winder, A review of the issues surrounding three-dimensional computed tomography for medical modelling using rapid prototyping techniques, *Radiography*, 16, 78–83, (2010).
- [8] F.P.W. Melchels, J. Feijen, D.W. Grijpma, A review on stereolithography and its applications in biomedical engineering, *Biomaterials*, 31, 6121–6130, (2010).
- [9] S.H. Masood, Intelligent rapid prototyping with fused deposition modelling, *Rapid Prototyp. J.*, 2, 24–33, (1996).
- [10] V. Petrovic, J.V.H. Gonzalez, O.J. Ferrando, J.D. Gordillo, J.R.B. Puchades, L.P. Grifan, Additive layered manufacturing: sectors of industrial application shown through case studies, *Int. J. Prod. Res.*, 49, 1061–1079, (2011).
- [11] S.P. Soe, D.R. Eysers, T. Jones, N. Nayling, Additive manufacturing for archaeological reconstruction of a medieval ship, *Rapid Prototyp. J.*, 18, 443–450, (2012).
- [12] R.F. Youssef, K. Spradling, R. Yoon, B. Dolan, J. Chamberlin, Z. Okhunov, R. Clayman, J. Landman, Applications of three-dimensional printing technology in urological practice, *BJU Int.*, 116, 697–702, (2015).
- [13] N. Xiang, C. Fang, Y. Fan, J. Yang, N. Zeng, J. Liu, W. Zhu, Application of liver three-dimensional printing in hepatectomy for complex massive hepatocarcinoma with rare variations of portal vein: preliminary experience, *Int. J. Clin. Exp. Med.*, 8, 18873–18878, (2015).
- [14] V. Baskaran, G. Štrkalj, M. Štrkalj, A. Di Ieva, Current Applications and Future Perspectives of the Use of 3D Printing in Anatomical Training and Neurosurgery, *Front. Neuroanat.*, 10 (2016).
- [15] O. Inzunza, I. Caro, G. Mondragón, F. Baeza, Á. Burdiles, G. Salgado, Impresiones 3D, Nueva Tecnología que Apoya la Docencia Anatómica, *Int. J. Morphol.*, 33, 1176–1182, (2015).
- [16] J.S. Naftulin, E.Y. Kimchi, S.S. Cash, Streamlined, Inexpensive 3D Printing of the Brain and Skull, *PloS One*, 10, e0136198, (2015).
- [17] H.N. Chia, B.M. Wu, Recent advances in 3D printing of biomaterials, *J. Biol. Eng.*, 9, 4, (2015).
- [18] S.V. Murphy, A. Atala, 3D bioprinting of tissues and organs, *Nat. Biotechnol.*, 32, 773–785, (2014).
- [19] X. Cui, K. Breitenkamp, M. g. Finn, M. Lotz, D.D. D’Lima, Direct Human Cartilage Repair Using Three-Dimensional Bioprinting Technology, *Tissue Eng. Part A*, 18, 1304–1312, (2012).
- [20] M.D. Tam, T.R. Latham, M. Lewis, K. Khanna, A. Zaman, M. Parker, I.Q. Grunwald, A Pilot Study Assessing the Impact of 3-D Printed Models of Aortic Aneurysms on Management Decisions in EVAR Planning, *Vasc. Endovascular Surg.*, 50, 4–9, (2016).
- [21] S.V. Murphy, A. Atala, 3D bioprinting of tissues and organs, *Nat. Biotechnol.*, 32, 773–785, (2014).
- [22] C. Schubert, M.C. van Langeveld, L.A. Donoso, Innovations in 3D printing: a 3D overview from optics to organs, *Br. J. Ophthalmol.*, bjophthalmol-2013-304446, (2013).



PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO

- [23] S. Canabrava, A. Diniz-Filho, P. Schor, D.F. Fagundes, A. Lopes, W.D. Batista, S. Canabrava, A. Diniz-Filho, P. Schor, D.F. Fagundes, A. Lopes, W.D. Batista, Production of an intraocular device using 3D printing: an innovative technology for ophthalmology, *Arq. Bras. Oftalmol.*, 78, 393–394, (2015).
- [24] J. Imanishi, P.F.M. Choong, Three-dimensional printed calcaneal prosthesis following total calcanectomy, *Int. J. Surg. Case Rep.*, 10, 83–87, (2015).
- [25] J. Parthasarathy, 3D modeling, custom implants and its future perspectives in craniofacial surgery, *Ann. Maxillofac. Surg.*, 4, 9–18, (2014).
- [26] A. Suomalainen, P. Stoor, K. Mesimäki, R.K. Kontio, Rapid prototyping modelling in oral and maxillofacial surgery: A two year retrospective study, *J. Clin. Exp. Dent.*, 7, e605–e612, (2015).
- [27] D. Moraes, P. Hemerson, S. Olate, M. Cantín, A.F. Assis, E. Santos, F. de O. Silva, L. de O. Silva, Reproducibilidad Anatómica a través de Impresión 3D en Defectos Cranio-Maxilo-Faciales, *Int. J. Morphol.*, 33, 826–830, (2015).
- [28] M. Cantín, M. Muñoz, S. Olate, Generación de Modelos de diente 3D Basados en Escaneo Tridimensional para el Estudio Morfológico de Dientes Permanentes, *Int. J. Morphol.*, 33, 782–787, (2015).
- [29] F.C. Fierz, F. Beckmann, M. Huser, S.H. Irsen, B. Leukers, F. Witte, Ö. Degistirici, A. Andronache, M. Thie, B. Müller, The morphology of anisotropic 3D-printed hydroxyapatite scaffolds, *Biomaterials*, 29, 3799–3806, (2008).
- [30] M. Guvendiren, J. Molde, R.M.D. Soares, J. Kohn, Designing biomaterials for 3D printing, *ACS Biomater. Sci. Eng.*, (2016).
- [31] K.-B. Lee, C.-W. Park, K.-H. Kim, T.-Y. Kwon, Marginal and Internal Fit of All-ceramic Crowns Fabricated with Two Different CAD/CAM Systems, *Dent. Mater. J.*, 27, 422–426, (2008).
- [32] A. Cabrera-Duffaut, CAD / CAM AND 3D PRINTING A PROMISING REALITY IN DENTISTRY, (2016).
- [33] F. Guillemot, V. Mironov, M. Nakamura, Bioprinting is coming of age: report from the International Conference on Bioprinting and Biofabrication in Bordeaux (3B'09), *Biofabrication*, 2, 010201, (2016).



PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO



PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO

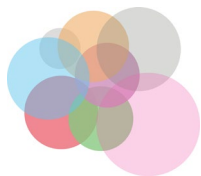
ANEXO V:

SYSTEMS OF DIGITALIZATION AND PROCESSING OF ANATOMICAL PIECES FOR THEIR THREE-DIMENSIONAL RECONSTRUCTION



PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO



PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO

Objetivos

Presentar diferentes modalidades de escaneado de piezas anatómicas mediante distintos equipamientos: tomógrafo computarizado, escáner de mano y escáneres de brazo.

Elaborar y disponer de piezas anatómicas 3D para su utilización docente en la práctica de la Anatomía Humana; así como para simulaciones y ensayos de intervenciones quirúrgicas, que permitan planificarlas previamente.

Metodología

Se emplearon varios escáneres para la obtención de imágenes 3D que posteriormente fueron tratadas para obtener los objetos 3D mediante la impresora 3D marca Colido X3045.

Escáner CT Aquilion™ 64 CFX

Las imágenes obtenidas mediante el TAC proporcionaron unas imágenes versátiles y de una gran calidad. Las imágenes de este escáner fueron a escala real, se almacenaron en formato DICOM y posteriormente fueron tratadas con el software 3D Slicer con el que se homogenizaron las dimensiones, se alinearon y redimensionaron; obteniéndose, así, imágenes isotrópicas con voxels de 1mm. Estas imágenes se exportaron al formato STL que fue leído por la impresora 3D.

Escáner de mano Artec Eva

Este escáner de mano se empleó en la digitalización de estructuras anatómicas y debido a sus características, permite obtener imágenes 3D en alta resolución. La resolución 3D que nos aportó fue de 0,5mm. La precisión de puntos fue de 0,1 mm; la resolución de texturas 1,3 mp; la velocidad de adquisición de datos 2 millones de puntos por segundo. El modo de fusión en tiempo real mejorado que presenta este escáner nos permitió ver el modelo mientras se estaba construyendo.

El software de Artec Studio 3D que incorpora este escáner, nos permitió la integración, sin inconveniente, con los programas de diseño asistido por ordenador (CAD), 3D Systems Geomagic Design X. Este software procesó la información métrica que contenía la nube de puntos obtenida de la digitalización de la estructura anatómica. Nos permitió pasar de una imagen 3D formada por puntos a un modelo



PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO

de malla formado por pequeños planos poligonales mediante el proceso de mallado por triangulación. Este software también permitió modificar los diseños, eliminar la geometría dañada, ajustar dimensiones, entre otras opciones. Finalizado este proceso se procedió a la creación del modelo en formato STL (Stereo Lithography). Que fue leído por la impresora 3D.

FaroArm Scan Platimun

Este escáner permitió un importante rendimiento en la adquisición de la nube de puntos que define la estructura anatómica que se escaneó. Presentó una alta resolución y una precisión de $\pm 35 \mu\text{m}$ y se procedió a la digitalización sin contacto con la pieza anatómica.

Posteriormente mediante el software Geomagic Design X se procedió a la creación de la malla por triangulación de puntos. Se eliminó el ruido superficial, se cerraron los agujeros, se suavizaron las caras y se optimizó la malla para la fabricación aditiva y creación del modelo 3D en la impresora.

Faro Edge Scan Arm HD

Empleamos, en nuestro trabajo, este escáner que combina la flexibilidad y funciones del brazo con el láser más pequeño del mercado, esto le confirió un uso eficiente en las mediciones tanto de escaneo como de palpado también en superficies complicadas. Su precisión es $\pm 35\mu$ ($\pm .0014\text{in.}$) y el rango de escaneo hasta 45,120 puntos/segundos.

La impresora Colido X3045 leyó e inició la creación de los modelos 3D de las piezas óseas escaneadas con los diferentes escáneres. El material empleado para la fabricación de los modelos 3D fue el ácido poliláctico (PLA) que confiere a los modelos una dureza y resistencia adecuadas al estudio de anatomía por los estudiantes de medicina

Resultados

Al analizar el modelo 3D obtenido tras la impresión 3D se podían observar sus detalles anatómicos que permiten al estudiante de anatomía entender y aprender.



PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO

En el cráneo que hemos fabricado se apreciaron características anatómicas como eran hueso nasal, orbita, hueso frontal con las suturas con el maxilar. Apófisis como cigoma, cóndilo mandibular con su articulación temporo-mandibular.

La calidad de la reproducción permitió al estudiante de anatomía emplearlo para su aprendizaje.

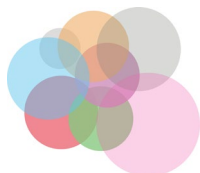
La fiabilidad de los datos que nos facilitó el escáner dependió de dos valores principalmente: la resolución y la exactitud.

Los escáneres de brazo permitieron una mayor movilidad y acercamiento a la pieza que se escaneó. Esto permitió una mayor optimización de la imagen y mejores resultados de la nube de puntos. El escáner Faro Edge Scan Arm HD al permitir tanto palpar la pieza como escanear la pieza consiguió una mejor imagen.

Conclusiones

La evolución de las nuevas tecnologías incorporadas en los sistemas de visualización 3D permite que cada vez su uso sea más diversificado.

Los escáneres que aparecen en el mercado son más versátiles tanto en el manejo como en la mejor calidad de la imagen obtenida. Así mismo los distintos softwares empleados en el tratamiento de las imágenes permiten que estas imágenes sean cada vez más nítidas y puedan ser leídas por una impresora 3D para obtener los modelos 3D cada vez de mejor calidad.



Systems of digitalization and processing of anatomical pieces for their three-dimensional reconstruction

M.T. Ugidos Lozano

Universidad de Salamanca,
Salamanca, Spain

ugidosteresa@yahoo.es

F. Blaya Haro

Universidad Politécnica de
Madrid, Madrid, Spain

fernando.blaya@upm.es

Alessandro Ruggiero

Università di Salerno,
Fisciano, Italy

ruggiero@unisa.it

J.A. Juanes Mendez

Universidad de Salamanca,
Salamanca, Spain

jajm@usal.es

ABSTRACT

Technological procedures¹ for three-dimensional reconstruction of anatomical pieces are in the process of continuous evolution, giving rise to the development of sophisticated equipment for their digitalization and posterior processing with appropriate software. In this work, we present different modalities of scanning of anatomical pieces by using various equipment such as computerized tomography, handheld and arm scanners. Once the anatomical pieces are digitalized, they are treated to reconstruct 3D images followed by their conversion into 3D models, which is done by additive fabrication using 3D printers. The motivation of this work is the elaboration and presentation of 3D anatomical models for their use in teaching of anatomy as well as in simulations and teaching of surgical interventions that could help plan the surgery beforehand.

KEYWORDS

Scanners, image digitalization, 3D reconstruction, medical training, human anatomy

1 INTRODUCTION

New techniques used for 3D visualization systems are being introduced in the study of human anatomical structures and their posterior use in the study of anatomy in the faculties of medicine as well as by the doctors to plan beforehand, the surgeries and treatment adequately [1]. During the last years the field of diagnostics by imaging has presented a rapid evolution in terms of technological advancement allowing obtaining images with high quality and greater resolution [2]. Scanning of anatomical pieces with different methods of obtaining images using computerized tomography, handheld and arm scanners allows obtaining images in 3D which can be posteriorly treated by different software and can be then read by 3D printers and finally obtain 3D models. These images and 3D models obtained using 3D printers are evolving on daily basis opening new lines of research in the field of medicine [3,4].

The applications of 3D models coming from 3D printing in the field of medicine go from the creation of bone pieces, adapting the defects in original bones to the employment in other therapies involving urology, neurology and odontology among others [5,7]. 3D images help in the training of medical students at the time of learning the surgical interventions by planning them beforehand [8] and in developing the knowledge on anatomical relationships between the anatomical structures of high similarity. This evolution in the field of medicine will introduce the possibility of creating 3D organs with new materials adapted for each case and adjusted through an analog procedure to the techniques of dental implants studies.

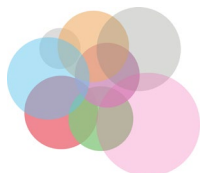
2 MATERIALS AND METHODS

We have employed different scanners for obtaining 3D images that were posteriorly treated to obtain 3D objects using 3D printer (ColidoX3045).

2.1. CT Aquilion™ 64 CFX Scanner

¹ Permission to make digital or hard copies of all or part of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. Copyrights for components of this work owned by others than ACM must be honored. Abstracting with credit is permitted. To copy otherwise, or republish, to post on servers or to redistribute

to lists, requires prior specific permission and/or a fee. Request permissions from Permissions@acm.org.
TEEM 2017, October 18–20, 2017, Cádiz, Spain
© 2017 Association for Computing Machinery.
ACM ISBN 978-1-4503-5386-1/17/10...\$15. 00
<https://doi.org/10.1145/3144826.3145402>



PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO

Systems of digitalization and processing of anatomical pieces for their three dimensional reconstruction

M.T. Ugidos Lozano, F. Blaya Haro, Alessandro Ruggiero, J.A. Juanes Mendez

The image obtained from CAT offers versatility and high quality. This quality depends on the relationship that exists between the signal and the noise of the image. A higher dose of radiation to the patient results in a better quality. The evolution of TAC allows a better quality of the images with a less radiation to the patient, which is aided by the scanner, CT Aquilion 64 CFX Toshiba, as shown in Fig. 1. The images obtained with this scanner are of real scale, acquiring 64 simultaneous layers of 0.5 mm with each rotation. For small details, a spatial resolution higher than 35 mm was obtained and for the visualization of soft parts, a low contrast resolution was used.

The DICOM images (Digital Imaging and Communication in Medicine) obtained by the scanner are treated with 3D Slicer software. In this way, the dimensions of the images are homogenized, aligned and resized obtaining isotropic images with 1 mm voxels having same size in all dimensions. The 3D printer that allows obtaining these 3D models posteriorly translates the geometric models delimited by polygonal meshes.



Figure 1. CT Aquilion™ 64 CFX Scanner

2.2. Artec Eva Handheld Scanner

The characteristics of this handheld scanner used in the digitization of anatomical structures allows obtaining 3D images with high resolution. Fig. 2 shows the model of Artec Eva Handheld Scanner used in this study. It has a processing capacity of 4,000,000 triangles/Gb Ram, giving a 3D resolution of 0.5mm with a precision of points is 0.1 mm; texture resolution 1.3 mp and data acquisition speed of 2 million points per second. We used Dell Latitude E5440 laptop as our workstation. The improved real-time merge mode presented by this scanner lets us view the model while it is being built. On the other hand, the base on which the image was scanned can be automatically erased and the scanned data can be aligned with great accuracy. It is also important to emphasize that the geometry editing tools are easy to use. Artec Studio 3D software allows to seamlessly integrating with Computer Aided Design (CAD) software, 3D Systems Geomagic Design X. This software supports the import of more than 60 formats and combines CAD data with scanner data 3D to later create solid and editable models. This software Geomagic

Design X 3D processes the metric information that contains the cloud of points obtained from the digitization of the anatomical structure. It allows us to move from a 3D image formed by points to a mesh model formed by small polygonal planes through the triangulation meshing process. This software also allows modifying the designs, to eliminate the damaged geometry, to adjust dimensions, among other options. After this process, the model was created in stereo format (Stereo Lithography).



Figure 2. Artec Eva Handheld scanner

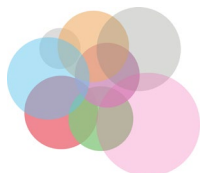
2.3. Faroarm Scan Platinum Model

This scanner (Fig. 3) allows an important performance in the acquisition of the cloud of points that defines the anatomical structure that we are scanning.



Figure 3. FaroArm Scan Platinum model

It presents a high resolution and a precision of + 35 µm and proceed to the scanning without contact with the anatomical piece. The point cloud consists of millions of points referenced to a coordinate system that represent the scanned piece with great accuracy. Subsequently, through the software Geomagic Design



PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO

Systems of digitalization and processing of anatomical pieces for their three dimensional reconstruction

M.T. Ugidos Lozano, F. Blaya Haro, Alessandro Ruggiero, J.A. Juanes Mendez

X, the mesh was created by triangulation of points. Surface noise, hole closure, face smoothing and mesh optimization for additive fabrication and creation of the 3D model on the printer were eliminated.

2.4. Faro Edge Scan Arm HD

The Faro Edge Scan Arm HD scanner, as shown in Fig. 4, combines the flexibility and functions of the arm with the smallest laser on the market, giving it efficient use in both scanning and probing measurements on complicated surfaces. Its accuracy is $\pm 35\mu$ ($\pm .0014$ in.) and the scanning range up to 45,120 dots/second. Unlike other scanning systems, scanning can be exchanged without removing any of its components, this allows you to accurately measure geometric zones with the probe and then scan the areas that require the most points.



Figure 4. Faro Edge scan arm HD

After the process of scanning and processing of images, we proceed to additive manufacturing, which consists of the superposition of micrometric layers of the polymeric material. The "Cura" software of the commercial company "Ultimaker" was employed to optimize the profile according to layered division of the three-dimensional model that, later, got read by the Colido X3045 printer, beginning the creation of the 3D models of the bone pieces that we previously scanned. We used the PLA (poly-lactic acid) as a printing material to create these 3D models, which gives the models a hardness and resistance adequate to the study of anatomy by medical students.

3. RESULTS

Different software applied to the treatment of images obtained using scanners above allowed processing them for their posterior transformation into 3D models by 3D printers. Fig. 5 shows the point cloud with Geomagic Design X.

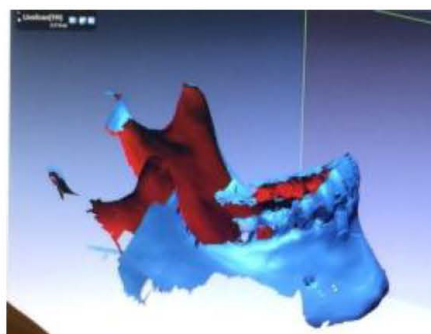


Figure 5. Point clouds with Geomagic Design X

The Cura software allowed the slicing it into layers in order to produces the codes for the posterior printing by 3D printer and is shown in Fig. 6. When analyzing the 3D model obtained after 3D printing (Fig. 7), anatomical details can be observed that will allow the anatomy student to understand and learn.

In the skull, we have made anatomical features such as nasal bone, orbit, and frontal bone with sutures with maxilla, apophysis as a zygoma, mandibular condyle with its temporo-mandibular joint. The quality of the reproduction allows the student of anatomy to be able to use it for their learning.

The reliability of the data provided by the scanner depends on two values mainly: resolution and accuracy. The resolution determines the amount of detail that can be seen in the image and is characteristic of each scanner. Accuracy is measured for a particular sample and indicates to what extent the value taken is the true value. It varies with the distance of the object and the reader, with the object's ability to reflect and whether edges are being measured. The arm scanners allow a greater mobility and approach to the part to be scanned. This permits for greater image optimization and better point cloud results. The Faro Scan Arm HD scanner, allowed obtaining a better image. The maneuverability of the Edge Scan Arm HD too is greater by having the smallest and anatomical hand piece.



PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO

Systems of digitalization and processing of anatomical pieces for their three dimensional reconstruction

M.T. Ugidos Lozano, F. Blaya Haro, Alessandro Ruggiero, J.A. Juanes Mendez

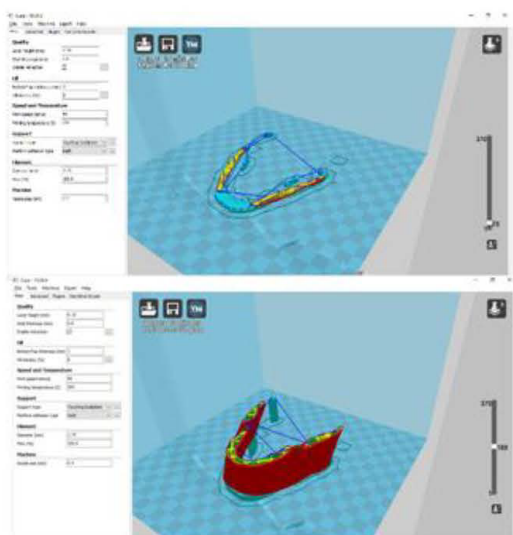


Figure 6. Slicing by Cura Model



Figure 7. 3D cranium model

4. DISCUSSION

Three-dimensional visualization systems have been increasingly used in anatomy teaching at the Faculties of Health Sciences [9-11]. Its use is not only relegated to this environment but is increasingly demanded in planning prior to surgery [12]. Xiang and his team used these 3D techniques in planning prior to surgery for an advanced hepatic carcinoma [13,14]. In the field of urology, Youssef and his team study the applications of 3D models in their field and the rapid evolution of these techniques [15]. Baskaran and her team published a biographical review of the different uses of 3D models in the field of neurology and neurosurgery [16].

In angiology, cardiology and repair of large vessels, this novel technique of 3D models has also been used to solve different pathologies [17-20]. The use of these 3D models has been expanded and now we find them in bone reconstruction in cases of defects that are either congenital or derived from accidents or tumors [21,22]. The 3D models obtained with 3D printers are

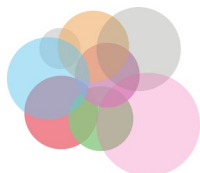
also used for the study of anatomy, trying to improve the access of the students to the bone material that they need for their learning. The arm scanners, which we have used in our work, allow a greater mobility and approach to the piece to be scanned. This allows for greater image optimization and better point cloud results. The Faro Edge Scan Arm HD scanner, allowed both palpating the part and scanning the part allows a better image. The applicability of Faro Edge Scan Arm HD offers advantages as along with touching the sample it also scans it which provides better image results. The manageability of this scanner to deal with a small object is better because it has a hand piece is smaller and versatile. This scanner has been used for archaeological studies [23].

5. CONCLUSIONS

The evolution of the new technologies incorporated in the systems of 3D visualization allows its use in a more diversified way. The scanners that appear in the market are more versatile both in the handling and in the best quality of the obtained image. Also different software used in the treatment of the images allow these images with an increased clarity and can be read by a 3D printer to get the 3D models of better quality.

REFERENCES

- [1] Juanes, J.A. and Ruisoto, P. (2013) Technological Advances and Teaching Innovation Applied to Health Science Education. *Proceedings of the First International Conference on Technological Ecosystem for Enhancing Multiculturality*, ACM, New York, NY, USA. p. 3-7. <https://doi.org/10.1145/2536536.2536537>
- [2] Lozano, M.T.U., Haro, F.B., Diaz, C.M., Manzoor, S., Ugidos, G.F. and Mendez, J.A.J. (2017) 3D Digitization and Prototyping of the Skull for Practical Use in the Teaching of Human Anatomy. *Journal of Medical Systems*, 41, 83.
- [3] Murphy, S.V. and Atala, A. (2014) 3D bioprinting of tissues and organs. *Nature Biotechnology*, 32, 773-85. <https://doi.org/10.1038/nbt.2958>
- [4] Shafiee, A. and Atala, A. (2016) Printing Technologies for Medical Applications. *Trends in Molecular Medicine*, 22, 254-65. <https://doi.org/10.1016/j.molmed.2016.01.003>
- [5] Bajaj, P., Schweller, R.M., Khademhosseini, A., West, J.L. and Bashir, R. (2014) 3D Biofabrication Strategies for Tissue Engineering and Regenerative Medicine. *Annual Review of Biomedical Engineering*, 16, 247-76. <https://doi.org/10.1146/annurev-bioeng-071813-105155>
- [6] Carter, S.-S.D., Costa, P.F., Vaquette, C., Ivanovski, S., Huttmacher, D.W. and Malda, J. (2017) Additive Biomanufacturing: An Advanced Approach for Periodontal Tissue Regeneration. *Annals of Biomedical Engineering*, 45, 12-22. <https://doi.org/10.1007/s10439-016-1687-2>
- [7] Semyonov, M.G., Mihailov, V.V., Filippova, A.V. and Stetsenko, A.G. (2015) 3D Modeling and prototyping of jaw models as a stage of osteoreconstructive surgery on the facial part of the skull of children. *Pediatric Traumatology, Orthopaedics and*



PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO

Systems of digitalization and processing
of anatomical pieces for their three
dimensional reconstruction

M.T. Ugidos Lozano, F. Blaya Haro, Alessandro Ruggiero, J.A.
Juanes Mendez

- Reconstructive Surgery*, **3**, 38–45.
<https://doi.org/10.17816/PTORS3138-45>
- [8] Markelj, P., Tomaževič, D., Likar, B. and Pernuš, F. (2012) A review of 3D/2D registration methods for image-guided interventions. *Medical Image Analysis*, **16**, 642–61.
<https://doi.org/10.1016/j.media.2010.03.005>
- [9] AbouHashem, Y., Dayal, M., Savanah, S. and Štrkalj, G. (2015) The application of 3D printing in anatomy education. *Medical Education Online*, **20**. <https://doi.org/10.3402/meo.v20.29847>
- [10] Estevez, M.E., Lindgren, K.A. and Bergethon, P.R. (2010) A novel three-dimensional tool for teaching human neuroanatomy. *Anatomical Sciences Education*, **3**, 309–17.
<https://doi.org/10.1002/ase.186>
- [11] Murgitroyd, E., Madurska, M., Gonzalez, J. and Watson, A. (2015) 3D digital anatomy modelling – Practical or pretty? *The Surgeon*, **13**, 177–80. <https://doi.org/10.1016/j.surge.2014.10.007>
- [12] Thomas, D.J., Azmi, M.A.B.M. and Tehrani, Z. (2014) 3D additive manufacture of oral and maxillofacial surgical models for preoperative planning. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, **71**, 1643–51.
<https://doi.org/10.1007/s00170-013-5587-4>
- [13] Parthasarathy, J. (2014) 3D modeling, custom implants and its future perspectives in craniofacial surgery. *Annals of Maxillofacial Surgery*, **4**, 9–18. <https://doi.org/10.4103/2231-0746.133065>
- [14] Xiang, N., Fang, C., Fan, Y., Yang, J., Zeng, N., Liu, J. et al. (2015) Application of liver three-dimensional printing in hepatectomy for complex massive hepatocarcinoma with rare variations of portal vein: preliminary experience. *International Journal of Clinical and Experimental Medicine*, **8**, 18873–8.
- [15] Youssef, R.F., Spradling, K., Yoon, R., Dolan, B., Chamberlin, J., Okhunov, Z. et al. (2015) Applications of three-dimensional printing technology in urological practice. *BJU International*, **116**, 697–702. <https://doi.org/10.1111/bju.13183>
- [16] Baskaran, V., Štrkalj, G., Štrkalj, M. and Di Ieva, A. (2016) Current Applications and Future Perspectives of the Use of 3D Printing in Anatomical Training and Neurosurgery. *Frontiers in Neuroanatomy*, **10**. <https://doi.org/10.3389/fnana.2016.00069>
- [17] Biglino, G., Capelli, C., Wray, J., Schievano, S., Leaver, L.-K., Khambadkone, S. et al. (2015) 3D-manufactured patient-specific models of congenital heart defects for communication in clinical practice: feasibility and acceptability. *BMJ Open*, **5**, e007165.
<https://doi.org/10.1136/bmjopen-2014-007165>
- [18] Lewis, T.L., Burnett, B., Tunstall, R.G. and Abrahams, P.H. (2014) Complementing anatomy education using three-dimensional anatomy mobile software applications on tablet computers. *Clinical Anatomy*, **27**, 313–20.
<https://doi.org/10.1002/ca.22256>
- [19] Norotte, C., Marga, F.S., Niklason, L.E. and Forgacs, G. (2009) Scaffold-free vascular tissue engineering using bioprinting. *Biomaterials*, **30**, 5910–7.
<https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2009.06.034>
- [20] Tam, M.D., Latham, T.R., Lewis, M., Khanna, K., Zaman, A., Parker, M. et al. (2016) A Pilot Study Assessing the Impact of 3-D Printed Models of Aortic Aneurysms on Management Decisions in EVAR Planning. *Vascular and Endovascular Surgery*, **50**, 4–9. <https://doi.org/10.1177/1538574415623651>
- [21] Moraes, D., Hemerson, P., Olate, S., Cantín, M., Assis, A.F., Santos, E. et al. (2015) Reproducibilidad Anatómica a través de Impresión 3D en Defectos Cranio-Maxilo-Faciales. *International Journal of Morphology*, **33**, 826–30.
<https://doi.org/10.4067/S0717-95022015000300003>
- [22] Watson, J., Hatamleh, M., Alwahadni, A. and Srinivasan, D. (2014) Correction of Facial and Mandibular Asymmetry Using a Computer Aided Design/Computer Aided Manufacturing Prefabricated Titanium Implant. *Journal of Craniofacial Surgery*, **25**, 1099–101. <https://doi.org/10.1097/SCS.0000000000000659>
- [23] Sues, H.-D. (2016) *Arctosaurus osborni*, a Late Triassic archosauriform reptile from the Canadian Arctic Archipelago. *Canadian Journal of Earth Sciences*, **54**, 129–33.
<https://doi.org/10.1139/cjes-2016-0159>



PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO

ANEXO VI:

A STUDY EVALUATING THE LEVEL OF SATISFACTION OF THE STUDENTS OF THE HEALTH SCIENCES ABOUT THE USE OF 3D PRINTED BONE MODELS



PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO



PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO

Objetivos

En las diferentes titulaciones de Ciencias de Salud de la Universidad de Salamanca, donde se imparte la asignatura de Anatomía Humana, se llevó a cabo una encuesta de satisfacción para valorar la opinión que los alumnos tienen de las prácticas de anatomía y con la en la utilización de material en 3D obtenidos con impresoras 3D, como material educativo. La encuesta se aplicó a estudiantes, que presentan en su currículo la disciplina de Anatomía Humana (Medicina, Odontología, Fisioterapia Enfermería y Terapia Ocupacional).

Valorar la posibilidad de utilizar piezas anatómicas óseas reconstruidas con impresoras tridimensionales en las prácticas de la asignatura de anatomía en Ciencias de la salud.

Conocer el grado de satisfacción del alumnado en la utilización de piezas anatómicas óseas reconstruidas con impresoras tridimensionales con relación a las piezas óseas reales.

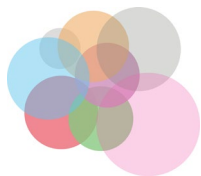
Metodología

Estudio observacional descriptivo cualitativo prospectivo. N= 280 (Alumnos de Facultad CC de la Salud de la Universidad de Salamanca)

- N=116 Medicina
- N=56 Enfermería
- N=42 Fisioterapia
- N=42 Terapia ocupacional
- N=24 Odontología

Los ítems que se han evaluado atienden a variables subjetivas de acuerdo con el siguiente esquema:

1. Sexo
2. Consideración de utilización de huesos reales en las prácticas
3. Estado del material
4. Material en peor estado de conservación



PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO

5. capacidad para identificar accidentes óseos en el material de prácticas
6. Preferencia por material gráfico a material real.
7. Grado de visualización de accidentes óseos en huesos 3D (diseñado)
8. Grado de realismo de la pieza 3D con relación a la real.
9. Grado de necesidad de tener un almacén de huesos para prácticas en 3D

Para la recogida de datos, se diseñó encuesta de satisfacción tipo Likert (5 puntos) para valorar la opinión en alumnos que reciben la asignatura de Anatomía Humana, en los cursos 1º y 2º.

El análisis de los datos recogidos se realizó con el programa estadístico IBM SPSS22 en su última versión.

Resultados

La presencia femenina era mayor en las titulaciones de Ciencias de la Salud. Los alumnos valoraron positivamente el uso de restos óseos en las prácticas de Anatomía

El cráneo era, de los restos óseos, el que presentó mayor deterioro por el uso continuado de los alumnos en prácticas

Los alumnos (el 68%) tuvieron dificultades para identificar los accidentes anatómicos en los restos óseos.

Los alumnos valoraron mejor la visualización de los accidentes anatómicos en los modelos 3D que en los restos óseos mal conservados.

El realismo de los modelos 3D los alumnos lo valoraron de forma positiva.

Los alumnos valoraron positivamente tener un almacén óseo para las prácticas de Anatomía

Conclusiones

Tras el análisis de resultados y conclusiones sobre los mismos, consideramos que el material 3D es apto para el estudio de la asignatura de anatomía por los estudiantes en las diferentes titulaciones estudiadas en este trabajo.

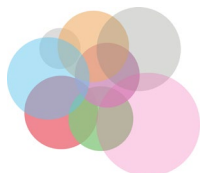


PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO

Este material presenta una mayor accesibilidad, una mejor conservación y resistencia a la manipulación que las piezas óseas de cadáver.

La buena aceptación e incluso el no encontrar diferencias significativas entre la utilización de este material sintético y el procedente de cadáveres, abre un campo de oportunidades de optimización y mejora de la calidad pedagógica, en este ámbito de la enseñanza universitaria, que incluso podría valorarse en próximos estudios en cuanto a la eficiencia de su uso.



A study evaluating the level of satisfaction of the students of health sciences about the use of 3D printed bone models

Maria Teresa Ugidos
Lozano
University of Salamanca
Salamanca, Spain
ugidosteresa@yahoo.es

Roberto D'Amato
Universidad Politécnica de
Madrid
Spain
r.damato@upm.es

Alessandro Ruggiero
University of Salerno
Italy
ruggiero@unisa.it

Sadia Manzoor
Universidad Politécnica de
Madrid
Spain
sadiamanzoor_sm@yahoo.es

Fernando Blaya Haro
Universidad Politécnica de Madrid
Spain
fernando.blaya@upm.es

Juan Antonio Juanes Méndez
VisualMed Systems Group
Universidad de Salamanca
Salamanca, Spain
jajm@usal.es

ABSTRACT

This work presents a study carried out by taking a survey involving students that belong to the field of health sciences. The purpose of the survey was to evaluate the use of 3D models for the study of anatomy and how students found them useful or preferred them over original bone pieces from corpses. 250 students from various faculties of health sciences from University of Salamanca, Spain participated in the survey. The results demonstrated that the 3D bone models are very well accepted by the students and fulfil the pedagogical objectives in a significant way. Furthermore, the results showed that the use of this material for university anatomy teaching is valued.

CCS CONCEPTS

- Human-centered computing
- Computing education → information technology education

KEYWORDS

Survey, 3D bones, 3D printing, anatomy teaching, health sciences

ACM Reference format:

M. T. Ugidos Lozano, R. D'Amato, A. Ruggiero, S. Manzoor, F. Blaya Haro and J. A. Juanes Méndez. 2018. A study evaluating the level of satisfaction of the students of health sciences about the use of 3D printed bone models. In *Proceedings of the 6th International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality (TEEM 2018) (Salamanca, Spain, October 24-26, 2018)*, F. J. García-Peñalvo Ed. ACM, New York, NY, USA, 5 pages. <https://doi.org/10.1145/3284179.3284242>

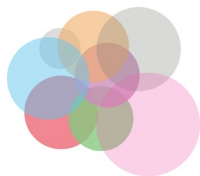
Permission to make digital or hard copies of all or part of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. Copyrights for components of this work owned by others than ACM must be honored. Abstracting with credit is permitted. To copy otherwise, to republish, to post on servers or to redistribute to lists, requires prior specific permission and/or a fee. Request permissions from Permissions@acm.org.

TEEM'18, October 24-26, 2018, Salamanca, Spain
© 2018 ACM. ISBN 978-1-4503-6518-5...\$15.00
<http://dx.doi.org/10.1145/3284179.3284242>

1 INTRODUCTION

The subject of Human Anatomy faces important challenges as more and more students are choosing to study the degree in the area of health sciences, and the classical resources such as bone remains are difficult to obtain for teaching purpose [1,2]. Current educational trends to complement the practical study of anatomy agree that supportive didactic elements such as computer-generated 3D anatomical images, videos, radiological images, different software, anatomical three-dimensional bone parts, constitute important means of support for teaching [3,4]. In the Faculty of Health Sciences of the University of Salamanca, a survey was carried out to assess the opinion of students about the anatomy practice and the use of 3D bone models obtained by 3D printers as educational material. The survey involved students whose curriculum includes the discipline of Human Anatomy (Medicine, Dentistry, Physiotherapy, Nursing and Occupational Therapy). This survey was carried out to evaluate if the students found the use of 3D bone models significant while studying the subject of anatomy. The response categories were designed to record the opinion and intensity of the feelings of the student surveyed towards said affirmation [5,6,7].

We intend to analyze whether the practical study of human anatomy by handling real anatomical pieces or 3D printed models, allow students to observe and learn the real structures in order to determine if the introduction of these technological resources in laboratories constitute a motivating element in learning [4,8]. In our case, we proposed the possibility of approaching descriptive teaching through 3D design material. This was done by replacing the traditional models of bones and graphic images by a material of high technical quality that allows safe handling, being very close to the real bones. The objectives of this study were to assess the possibility of using bone reconstructed by three-dimensional printers in the learning of anatomy in Health Sciences. In addition, the study was designed to evaluate the degree of satisfaction of the students in the use of reconstructed 3D bone in relation to the real bone pieces.



PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO

A study evaluating the level of satisfaction of the students of health sciences about the use of 3D printed bone models

TEEM 2018, October 2018, Salamanca, Spain

2 METHODOLOGY

The type and general design of the study were based on the evaluation of qualitative prospective and observational descriptive study. The survey involved N = 280 students from the University of Salamanca, where 116 were from medicine, 56 from nursing, 42 from Physiotherapy, 42 from Occupational therapy and 24 from Dentistry.

The parameters that have been evaluated attribute to subjective variables (Table 1) include Sex, Consideration of the use of real bones in practices, State of the material, Material in worse state of conservation, Ability to identify bone accidents in the practice material, Preference for graphic material to real material, Degree of visualization of bone details in 3D bones, Degree of similarity of 3D model with the real one and degree of need to have a bone store for 3D practices.



Figure 1: (a) A student taking the survey (b) Students comparing 3D models and original bone pieces

For the collection of data, a Likert satisfaction survey (5 points) was designed to assess the opinion of nursing students who receive the subject of Human Anatomy, in the 1st and 2nd year of degree (Fig. 1), who perform their practical learning in the laboratories with real bone material and 3D printing. We used the Likert scale, as shown in Table 2, which allows us to measure and know the degree of students' compliance with the statements proposed [9].

We use this type of scale because it has interesting advantages when it comes to analyzing the data obtained. In addition, with respect to designing the questionnaire, it offers an easy scale to build. On the other hand, we offered the participants the option to grade the opinion in case of complex statements [10].

Table 1: Satisfaction survey of students

Parameters	1	2	3	4	5
Title					
1. Sex					
2. Is it useful to incorporate real bones in practice sessions?					
3. Is the bone material in good condition?					
4. Which bone pieces are in worse shape?					
5. Identify well all the projections in the real bone?					
6. Do you prefer atlas for the study of bones?					
7. 3D models allow to see well the bone projections.					
8. The printed material simulates the real bone piece.					
9. I would like to have a personal osteotec with 3D printer.					

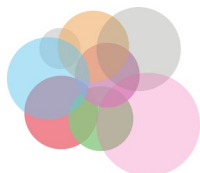
We analysed the data obtained in our work with the statistical program of IBM SPSS 22 in its latest version. This program allowed carrying out an interactive statistical study.

2 RESULTS AND DISCUSSION

Item 1 - With respect to sex, significant differences were found between women who study Health Sciences versus men with 74.7% on average. (Medicine 75.9%); (Nursing: 80.4%); (Physiotherapy: 64%); Occupational Therapy (81.4%); (Dentistry: 62.5%) (Fig. 2)

Table 2: Likert (5 points)

1	2	3	4	5
Strongly disagree	Disagree	Neutral	Agree	Strongly agree



PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO

TEEM 2018, October 2018, Salamanca, Spain

M.T. Ugidos Lozano

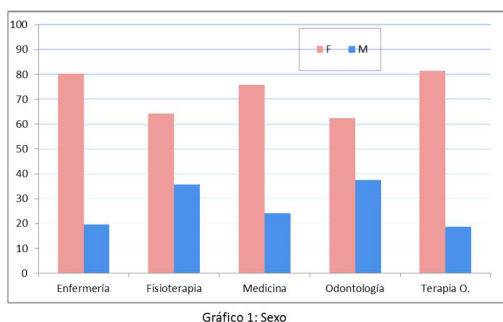


Fig. 2. Percentage of participants based on gender

This can be explained based on the fact that the female presence is ever increasing in university education, and also in choosing these careers that need the highest grades, where Health Sciences degrees stand out [11,12].

Globally, Item 2, that was based on the consideration of the use of real bones in practices, showed a satisfaction level of 84.3% (Fig. 3).

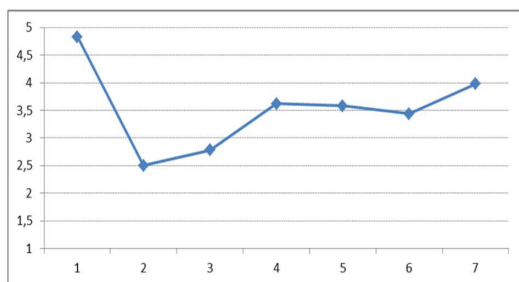


Fig. 3. Use of real bones in practical sessions

Item 3 - 4: State of the material - material in worse condition; 41.3% of the students are indifferent, however the arithmetic mean in the sample gave 2.50/5, which confirms that the material is considered with a low conservation profile, skull being the worst piece in general. Other pieces such as thorax, vertebrae, short bones, etc., are also poorly valued for conservation status (Fig. 4).

Item 5: Ability to identify bone details in the real sample materials; 68% were indifferent, with an average of 2.78/5, which reflects that a large part of the students had difficulties in identifying bone projections in the material in general. (Fig. 5)

Item 6: Preference for graphic material over real bones; 48.0% were satisfied with the graphic material while 42.7% were indifferent, so this teaching material was well accepted by students in any of the cases.

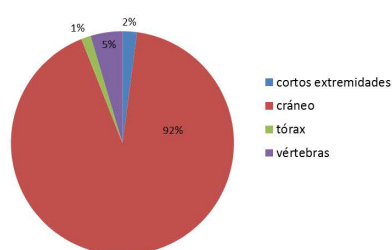


Fig. 4. Bone structure commonly found in bad conservation state

Item 7: Degree of visualization of bone projections in 3D bone models; 48.8% say they are satisfied with the visualization of bone projections, and 39.3% were indifferent, so the degree of visual satisfaction is slightly better in the pieces designed in 3D than in the real ones (Fig. 4).

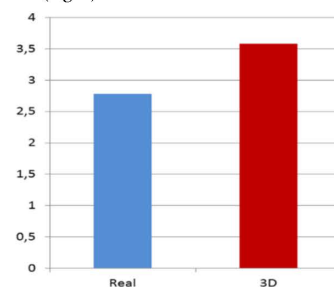


Fig. 5. Statistical results on the visualization of bone projections in 3D models

Item 8: Degree of similarity of 3D model to real bones; 45.6% said they were satisfied with the extent of similarity between the pieces and 3D models. 43.4% manifested indifference. The average result is 3.44/5, so it is acceptable to simulate the material designed with respect to the biological (Fig. 6)

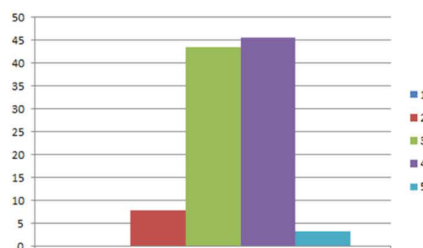


Fig. 6. Views about extent of similarity between 3D models and real bone pieces



PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO

A study evaluating the level of satisfaction of the students of health sciences about the use of 3D printed bone models

TEEM 2018, October 2018, Salamanca, Spain

Item 9: Degree of need to have a bone store for 3D practices. 65% agreed to have an "osteotec" of the 3D materials for anatomy practical classes.

The main purpose of the study of anatomy by students is to acquire the ability to identify and distinguish anatomical structures. As for the bone system, the most important thing is to identify the bone projections. When the deterioration of the bones is important, these do not meet the parameters necessary for their use in the teaching of anatomy in the faculties of Health Sciences and the didactic support of the 3D models is necessary [7,13,14]. This study demonstrates that the students positively value the quality of 3D models that allow them a good identification of bone projections. The use of material from corpses and the use of dissection rooms in the learning of anatomy by students of health sciences is defended by several authors [1,6,15]. Other authors defend the use of new 3D images and 3D models for learning [3,16] and there are several studies that stress the need to combine both to technologies in order to acquire greater anatomical knowledge by students [4,17]. Some authors argue that there are not enough and deep studies of the effectiveness of 3D models or 3D images in the teaching of anatomy [18]. 3D bone 3D models are an alternative to bones from corpses because they provide defined anatomical details and the students can easily identify the projections that need to be known. In addition they are reproducible and robust [8,19], so they can be used for the study of anatomy [2].

Recent studies related to the impact of 3D models in the study of anatomy [8] indicated that 3D models for the study of cardiac anatomy have certain benefits for learning anatomy [1]. Its use indicates a positive value for the 3D models but not for the 3D images, especially for students with poor three-dimensional visual capacity [14]. Ten otolaryngology students evaluated the generation of a temporal bone printed in 3D following a patented algorithm. This analysis deconstructs the digital model in pieces before 3D printing and its use in learning has proved positive [20]. They created a 3D model of the multi-colored and multimaterial upper extremity and evaluated through a survey of 15 students that its use was positive in the study of anatomy.

In our work, the sample consisted of 280 students from the Faculty of Health Sciences of Salamanca. 116 belonged to the faculty of Medicine, 56 to the faculty of nursing, 42 faculty of Physiotherapy, 42 to the Faculty of Occupational Therapy and 24 from the faculty of Dentistry. We have not found other publications related to this topic that provide such a varied sample and an integration of several faculties of Health Sciences.

3 CONCLUSIONS

After the analysis of results, we consider that the 3D material is appropriate and useful for the study of anatomy. This material presents a greater accessibility, a better conservation and resistance to manipulation than the real bone pieces from corpse. The acceptance and high similarity between the use of this synthetic and original material opens a field of opportunities for optimization and improvement of pedagogical content and

material for university education. This could even be valued in next studies regarding the efficiency of its use.

ACKNOWLEDGEMENT

This research work has been completed within the Ph.D. program in Education in the Knowledge Society of the University of Salamanca, Spain [21-23].

REFERENCES

- [1] Z. Khot, K. Quinlan, G.R. Norman, B. Wainman, The relative effectiveness of computer-based and traditional resources for education in anatomy, *Anat. Sci. Educ.*, 6 (2013) 211-215.
- [2] Y. AbouHashem, M. Dayal, S. Savanah, G. Strkalj, The application of 3D printing in anatomy education, *Med. Educ. Online*, 20 (2015) 29847.
- [3] S. Chen, Z. Pan, Y. Wu, Z. Gu, M. Li, Z. Liang, H. Zhu, Y. Yao, W. Shui, Z. Shen, J. Zhao, H. Pan, The role of three-dimensional printed models of skull in anatomy education: a randomized controlled trial, *Sci. Rep.*, 7 (2017) 575.
- [4] C.R. Davis, A.S. Bates, H. Ellis, A.M. Roberts, Human anatomy: let the students tell us how to teach, *Anat. Sci. Educ.*, 7 (2014) 262-272.
- [5] A. Böckers, L. Jerg-Bretzke, C. Lamp, A. Brinkmann, H.C. Traue, T.M. Böckers, The gross anatomy course: An analysis of its importance, *Anat. Sci. Educ.*, 3 (2010) 3-11.
- [6] S.A. Azer, N. Eizenberg, Do we need dissection in an integrated problem-based learning medical course? Perceptions of first- and second-year students, *Surg. Radiol. Anat.*, 29 (2007) 173-180.
- [7] V. Papa, M. Vaccarezza, Teaching anatomy in the XXI century: new aspects and pitfalls, *ScientificWorldJournal*, 2013 (2013) 310348.
- [8] K.H.A. Lim, Z.Y. Loo, S.J. Goldie, J.W. Adams, P.G. McMenamin, Use of 3D printed models in medical education: A randomized control trial comparing 3D prints versus cadaveric materials for learning external cardiac anatomy, *Anat. Sci. Educ.*, 9 (2016) 213-221.
- [9] H.N.B. Jr, D.A. Boone, Analyzing Likert Data, *J. Ext.*, 50 (2012).
- [10] J. Hartley, Some thoughts on Likert-type scales, *Int. J. Clin. Health Psychol.*, 14 (2014).
- [11] A. Martínez Martínez, M. Castro Sánchez, F. Zurita Ortega, M. Lucena Zurita, La elección de estudios superiores universitarios en función de la modalidad de estudios, la nota media y el género, *Magister*, 27 (2015) 18-25.
- [12] S. Moreno, C. Vergara, C. Murcia, F. Moreno, Caracterización del estudiante de medicina de la Pontificia Universidad Javeriana de Cali Aspectos sociodemográficos, *Univ. Medica*, 57 (2016).
- [13] D.B. Thomas, J.D. Hiscox, B.J. Dixon, J. Potgieter, 3D scanning and printing skeletal tissues for anatomy education, *J. Anat.*, 229 (2016) 473-481.
- [14] J.B. Hochman, J. Kraut, K. Kazmerik, B.J. Unger, Generation of a 3D Printed Temporal Bone Model with Internal Fidelity and Validation of the Mechanical Construct, *Otolaryngol.-Head Neck Surg.*, 150 (2014) 448-454.
- [15] N.A. Granger, Dissection laboratory is vital to medical gross anatomy education, *Anat. Rec. B. New Anat.*, 281B (2004) 6-8.
- [16] J.C. McLachlan, J. Bligh, P. Bradley, J. Searle, Teaching anatomy without cadavers, *Med. Educ.*, 38 (2004) 418-424.
- [17] S.K. Ghosh, Cadaveric dissection as an educational tool for anatomical sciences in the 21st century, *Anat. Sci. Educ.*, 10 (2017) 286-299.
- [18] S.A. Azer, S. Azer, 3D Anatomy Models and Impact on Learning: A Review of the Quality of the Literature, *Health Prof. Educ.*, 2 (2016) 80-98.
- [19] P.G. McMenamin, M.R. Quayle, C.R. McHenry, J.W. Adams, The production of anatomical teaching resources using three-dimensional (3D) printing technology, *Anat. Sci. Educ.*, 7 (2014) 479-486.
- [20] S.R. Mogali, W.Y. Yeong, H.K.J. Tan, G.J.S. Tan, P.H. Abrahams, N. Zary, N. Low-Beer, M.A. Ferenczi, Evaluation by medical students of the educational value of multi-material and multi-colored three-dimensional printed models of the upper limb for anatomical education, *Anat. Sci. Educ.*, 11 (2018) 54-64.
- [21] F. J. García-Peñalvo, 2014. Formación en la sociedad del conocimiento, un programa de doctorado con una perspectiva interdisciplinar. *Education in the Knowledge Society* 15, 1, 4-9.
- [22] F. J. García-Peñalvo, 2015. Engineering contributions to a Knowledge Society multicultural perspective. *IEEE Revista Iberoamericana de Tecnologías del Aprendizaje (IEEE RITA)* 10, 1, 17-18. <http://dx.doi.org/10.1109/RITA.2015.2391371>.
- [23] F. J. García-Peñalvo. 2013. Education in knowledge society: A new PhD programme approach. In *Proceedings of the First International Conference*



PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO

TEEM 2018, October 2018, Salamanca, Spain

M.T. Ugidos Lozano

on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality (TEEM'13)
(Salamanca, Spain, November 14-15, 2013), F.J. García-Peñalvo Ed. ACM,
New York, NY, USA, 575-577. DOI:10.1145/2536536.2536624

372

MARIA TERESA UGIDOS

108

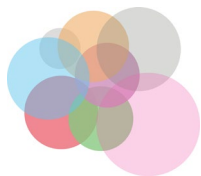


PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO

ANEXO VII:

APORTACIONES DE LA INGENIERÍA INDUSTRIAL EN EL
DESARROLLO DE MATERIALES ÓSEOS PARA LA
FORMACIÓN MEDICA



PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO



PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO

Objetivos

Las nuevas técnicas de prototipado rápido, las impresoras 3D de bajo costo, así como la creación de nuevos softwares aplicados a estas técnicas, han permitido la creación de modelos 3D de estructuras óseas y su aplicación en el campo de anatomía de las facultades de Ciencias de la Salud.

El modelo 3D del cráneo que se ha creado, a escala real, presenta relieves y detalles anatómicos precisos y fácilmente identificables por los estudiantes de pregrado en su uso para el estudio de anatomía humana.

Metodología

Se procedió a la digitalización de precisión, sin contacto con el material óseo, mediante un láser escáner de brazo, modelo FaroArm Scan Platimun.

La nube de puntos resultante del proceso de escaneo estaba compuesta por millones de puntos, referenciados a un sistema de coordenadas local, que representaron con exactitud geométrica y dimensional la estructura anatómica ósea a modelar. Esta nube de puntos contenía toda la información métrica necesaria del modelo óseo digitalizado, que sirvió para el procesamiento posterior con el software Geomagic Design X para pasar de una nube de puntos a un modelo de malla constituido por pequeños planos poligonales.

A partir de este modelo en formato stl se procedió a la fabricación aditiva (Additive Manufacturing). El software empleado para la simulación y la gestión de la impresora 3D fue "CURA" (de la casa comercial Ultimaker). La impresora 3D utilizadas fue el modelo 3D Colido X 3045.

Como material de impresión se empleó PLA (Ácido Poli-Láctico) con una velocidad de impresión de 40 mm por segundo. Este material plástico termoestable, empleado en la impresión 3D, una vez que sufre el proceso de calentamiento-fusión, solidifica por láminas dando lugar al modelo final. La dureza y resistencia de los modelos obtenidos son las adecuadas para su uso posterior.



PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO

Resultados

El modelo 3D del cráneo obtenido con nuestro trabajo presentó una buena definición de los detalles anatómicos fácilmente identificables y que los estudiantes de anatomía deben conocer.

Desde el punto de vista de la metodología el principal aporte fue crear modelos 3D del cráneo, a escala real, que el estudiante puede manipular y emplear para identificar los detalles anatómicos; partiendo de imágenes escaneadas de las piezas óseas y con una técnica eficiente y fácilmente reproducible.

Conclusiones

El modelo 3D de cráneo obtenidos con la técnica de adición en impresoras 3D con tecnología FDM reproducen con gran fidelidad los detalles anatómicos que los estudiantes de anatomía deben conocer.



ORIGINAL

Aportaciones de la ingeniería industrial en el desarrollo de materiales óseos para la formación médica

Contributions of industrial engineering in the development of bone materials for medical training

Juan Antonio Juanes Méndez¹, Fernando Blaya Haro² y María Teresa Ugidos Lozano³

Resumen

La aplicación de la ingeniería industrial al ámbito biosanitario cada vez desempeña un papel más relevante en el diseño y creación de estructuras anatómicas, con fines tanto docentes como para aplicaciones médico-quirúrgicas. Gracias a la colaboración conjunta entre ingenieros industriales y profesionales en el campo de la anatomía humana, hemos generado piezas óseas muy precisas mediante técnicas de prototipado rápido, para el estudio morfológico detallado de los diferentes relieves o accidentes óseos. De esta manera, se mejora la visión anatómica de los detalles óseos que en las piezas reales, en la mayoría de los casos, no pueden verse con facilidad, por estar, generalmente, muy deteriorados.

Presentamos en este artículo la fabricación aditiva de los huesos del cráneo, tras su reconstrucción tridimensional con escáneres de alta precisión. La aplicación de técnicas y softwares específicos de ingeniería industrial para el procesamiento de modelos anatómicos tridimensionales nos ha permitido elaborar nuestras piezas óseas con una excelente similitud a los modelos reales.

Palabras clave

Ingeniería industrial, fabricación aditiva, huesos, cráneo, formación médica.

Abstract

The application of industrial engineering to the biosanitary field plays an increasingly relevant role in the design and creation of anatomical structures, for both teaching purposes and medical-surgical applications. Thanks to the joint collaboration between industrial engineers and professionals in the field of Human Anatomy, we have generated very precise bone models, using rapid prototyping techniques, for the detailed morphological study of the different reliefs. This allowed improving the anatomical view of bone details that cannot be seen in original bones because of deterioration.

In this study, we have presented additive fabrication of the skull, after performing three-dimensional reconstruction with high precision scanners. The application of specific techniques and software used in the field of industrial engineering for the processing of three-dimensional anatomical models has allowed us to elaborate our bony pieces with an excellent similarity to the original samples.

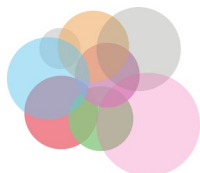
Keywords

Industrial engineering, additive fabrication, bones, cranium, medical training.

Recibido / Received: 22.09.2016. Aceptado / Accepted: 22.02.2017

¹Departamento de Anatomía Humana. Facultad de Medicina de la Universidad de Salamanca. ²Departamento de Ingeniería Mecánica, Química y Diseño Industrial. Escuela Técnica Superior de Ingeniería y Diseño Industrial, de la Universidad Politécnica de Madrid. ³Médico odontólogo y estomatólogo. IUCE. Universidad de Salamanca.

Autor para correspondencia / Corresponding author: Juan A. Juanes (jajm@usal.es). Departamento de Anatomía Humana, Facultad de Medicina, Avda. Alfonso X El sabio s/n, 37007 Salamanca.



PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO

Aportaciones de la ingeniería industrial en el desarrollo de materiales óseos para la formación médica



Alumnas con un modelo anatómico de cráneo en 3D.

Introducción

La medicina tiene un buen pilar en las técnicas y herramientas que le ofrece la ingeniería industrial (Anderson, 2010). Gracias a esta colaboración se están construyendo materiales médicos muy valiosos tanto para la docencia de la medicina como para la práctica quirúrgica (McGurk et al., 1997; Hieu et al., 2003; Suzuki et al., 2004; Hurson et al., 2007; Drstvensek et al., 2008; Bagaria et al., 2011; Yih-Lin et al., 2012; Zhao et al., 2012).

La utilización de diferentes parámetros matemáticos para el desarrollo de piezas anatómicas constituye hoy día un avance tecnológico en ciencias de la salud al permitir elaborar así estructuras corporales sintéticas que sirven de apoyo a la formación médica (McGurk et al., 1997) y en las simulaciones quirúrgicas, como entornos o sistemas de entrenamiento previo a una intervención (Potamianos, 1998; Hieu et al., 2003; Suzuki et al., 2004; Hurson et al., 2007; Mavili et al., 2007; Drstvensek et al., 2008; Díaz y Lafont, 2012).

En este sentido, es evidente que el trabajo conjunto entre facultativos de diferentes especialidades médicas e ingenieros industriales, permitirán una



Figura 1. Digitalización de una pieza ósea con el escáner modelo FaroArm Scan Platinum.

productiva generación de modelos anatómicos de gran utilidad práctica en diversos campos de la medicina.

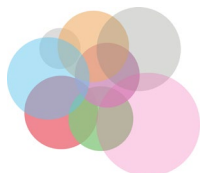
En este trabajo presentamos ejemplos desarrollados por ingenieros industriales de la Escuela Técnica Superior de la Universidad Complutense de Madrid, junto con especialistas en anatomía humana, de la Facultad de Medicina de la Universidad de Salamanca.

Se han llevado a cabo la generación de piezas anatómicas óseas mediante la tecnología de fabricación aditiva.

Nuestro objetivo con este material es poder reproducir huesos que en muchas ocasiones están muy deteriorados, lo que dificulta su estudio adecuado, por carecer de algunos relieves o accidentes que presentan estas estructuras anatómicas (apófisis, espinas, prominencias, forámenes, fosas, etc.). En este trabajo describiremos todo el procedimiento tecnológico llevado a cabo para su desarrollo, así como la opinión y valoración de los alumnos en el manejo de estas piezas óseas.

Material y métodos

Para proceder a la construcción de nuestro material óseo, se realizó en primer lugar la digitalización de forma precisa de la pieza ósea craneal, mediante un láser escáner de brazo, modelo FaroArm Scan Platinum como el que se observa en la figura 1. Con ello, obtuvimos una nube de puntos de gran precisión y fiabilidad del modelo craneal. Dichas nubes de puntos posteriormente se convirtieron a un formato de malla (*mesh* en inglés) mediante *software* específico de



PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO

Juan Antonio Juanes Méndez, Fernando Blaya Haro y María Teresa Ugidos Lozano

digitalización. Después del proceso de reparación y suavizado de las mallas se obtuvo el modelo final para su posterior impresión en tres dimensiones.

Este escáner permite capturar nubes de puntos con un gran rendimiento de adquisición de puntos, una alta resolución y una precisión de $\pm 35 \mu\text{m}$. Debido a la dificultad de acceso a todas las superficies del material óseo y su complejidad geométrica, se requirió de la preparación de utillaje específico de amarre para la obtención de múltiples nubes de puntos en diferentes posiciones para su posterior alineamiento y procesado. La nube de puntos resultante de nuestro modelo estuvo compuesta por millones de puntos, referenciados en un sistema de coordenadas local que representaron con exactitud geométrica y dimensional la estructura anatómica ósea que modelar. Esta nube de puntos contenía toda la información métrica necesaria del modelo óseo digitalizado, que sirvió para el procesamiento posterior con el software Geomagic Design X (figura 2). De esta forma, el proceso de mallaado por triangulación de puntos de escaneo nos permitió pasar de un modelo 3D formado únicamente por puntos a un modelo de malla constituido por pequeños planos poligonales.

El procesado de malla requirió de diferentes pasos para llevarlo a cabo, entre los que se destacan: la eliminación de ruido superficial, la corrección de errores de solapamiento, el cierre de agujeros, el suavizado de caras y la optimización de la malla para fabricación aditiva. Una vez concluido este procedimiento, se procedió a la generación del modelo en formato .stl (STereo Lithography).

El software Geomagic Design X soporta la importación de más de 60 formatos y permite combinar datos de diseño asistido por ordenador (CAD) con datos procesados de escaneos 3D, para poder crear así modelos sólidos y editables, como son las estructuras óseas desarrolladas. Design X está construido sobre un Kernel CAD (Parasolid) que le da la flexibilidad para hacer modelos CAD reales de la manera deseada.

A partir del modelo obtenido se procedió a la fabricación aditiva (*additive manufacturing*) mediante la sucesiva superposición de capas micro-métricas de un material polimérico. Empleamos el software Cura (de la casa

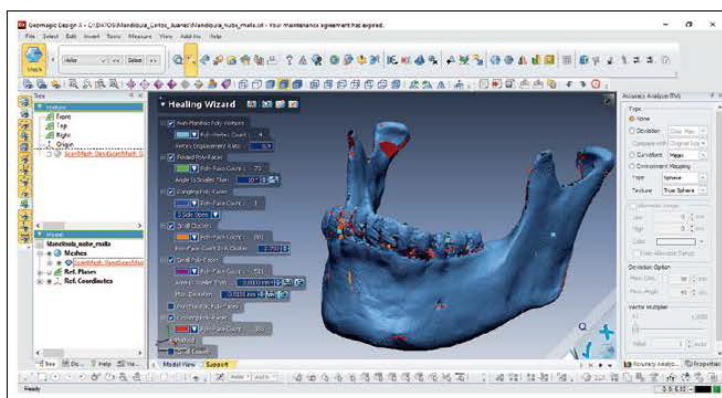


Figura 2. Proceso de reparación de errores y malla final con el software Geomagic Design X.

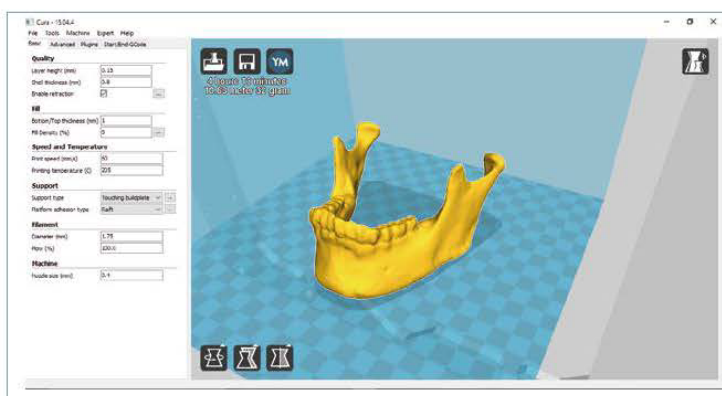


Figura 3. Previsualización de la impresión en el software Cura, de Ultimaker.

comercial Ultimaker), (figura 3), que nos permitió dividir en capas el modelo tridimensional, según un perfil de configuración optimizado. El proceso de laminado transfiere un diseño digital en 3D en formato STL (STereo Lithography) creándose unas capas delgadas en un plano de dos dimensiones que la impresora leerá. Tras apilar estas capas se crea el objeto. Este proceso se realizó mediante cálculos matemáticos por el software de generación de G-Code. Este código se genera de forma automática y podemos introducir modificaciones. Calculadas las trayectorias y generados los comandos, se transmite a la impresora y se inicia la creación las piezas anatómicas óseas.

El material utilizado fue PLA (ácido poliláctico) y la velocidad de impresión de 40 mm por segundo. Este material plástico termoestable, empleado en

la impresión 3D, una vez que sufre el proceso de calentamiento-fusión, solidifica por láminas y da lugar al modelo final con la dureza y resistencia requeridas. La máquina empleada en la fabricación fue una impresora 3D compacta marca Colido y modelo X3045 (figura 4).

Resultados

En la formación de cualquier titulación de las ciencias de la salud (medicina, odontología, fisioterapia, enfermería, terapia ocupacional, podología, etc.), una de las disciplinas que más relevancia tiene en los primeros cursos de estas titulaciones es sin duda la asignatura de Anatomía Humana. Esta materia requiere de la utilización de material humano para las clases prácticas; sin embargo, es muy frecuente que este material sea escaso y esté deteriorado, por lo que muchos detalles morfoló-



PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO

Aportaciones de la ingeniería industrial en el desarrollo de materiales óseos para la formación médica



Figura 4. Impresora modelo Colido X3045 utilizada para la fabricación aditiva de las piezas craneales.



Figura 5. Imágenes de cráneos muy deteriorados que no permiten un estudio anatómico detallado.



Figura 6. Imágenes de un cráneo fabricado con impresión 3D comparado con un cráneo deteriorado.

gicos de estructuras corporales no se visualizan correctamente. El ejemplo más representativo de este material lo constituyen los huesos del cráneo. Estos, en muchas ocasiones, están rotos y carentes de detalles óseos relevantes, como se aprecia en la figura 5. En este sentido la impresión tridimensional de estos huesos facilita y complementa la labor docente. Como se observa en la figura 6, la impresión 3D del cráneo mejoró considerablemente la visualización de todos los detalles óseos (apófisis, protuberancias, etc., entre otros muchos detalles o relieves óseos).

El modelo anatómico impreso en 3D fue analizado en toda su morfología

por un grupo de anatomistas con el objetivo de valorar su eficacia para la docencia.

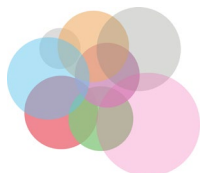
De esta forma hemos conseguido obtener un modelo craneal, a escala real, con todos los detalles anatómicos que en los huesos reales en ocasiones se desdibujan debido a su mal estado o deterioro con el paso del tiempo.

Discusión

Las diversas técnicas que se desarrollan desde la ingeniería industrial, como ayuda en los diferentes aspectos de la medicina, están consiguiendo excelentes resultados en la confección de dispositivos y procedimientos que

mejoran la práctica clínica. Un claro ejemplo de la aportación que la ingeniería industrial hace a la medicina es la generación de prótesis, ortesis y dispositivos de terapia ocupacional (Potamianos et al., 1998; Hurson et al., 2007). En el campo de la cirugía, la ingeniería industrial también está teniendo un papel importante en la creación de instrumentos para cirugías mínimamente invasivas, implantes artificiales, microcámaras, robots, etc. (Wagner et al., 2004; Suzuki et al., 2004; Zhao et al., 2012).

Las aplicaciones de la impresión 3D en el campo de la medicina están cada día en aumento, abriéndose nue-



PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO

Juan Antonio Juanes Méndez, Fernando Blaya Haro y María Teresa Ugidos Lozano

vas líneas de investigación (Waran et al., 2012). No cabe duda de que en un futuro la verdadera revolución de la impresión 3D será la rapidez con la que esta tecnología se transformará en algo usual e incluso esencial en la vida cotidiana. Por tanto, una de las aplicaciones más relevantes en el futuro será en la medicina reconstructiva o en la ortopedia, ya que con las bioimpresoras tridimensionales los cirujanos tendrán a su disposición implantes y hasta órganos humanos personalizados. En este sentido, la progresión de estas técnicas de ingeniería industrial aplicadas en medicina traerá la posibilidad de crear órganos adaptados a cada caso concreto y colocarlos por un procedimiento análogo al de las técnicas de implantología dentaria. Desde la aparición de las primeras prótesis utilizadas, va a haber un antes y un después con la utilización de la impresión en 3D. No solo permite que los materiales sean más ligeros, sino que, además, la prótesis se crea con el tamaño y la forma que el paciente necesita exactamente, lográndose así una mejor adaptación a su uso. En este sentido, recientemente se empiezan a ver muchos proyectos de investigación basados en la creación de partes artificiales del cuerpo humano con el objetivo de reemplazar órganos dañados por accidentes o por alguna enfermedad grave.

La utilización de materiales termoplásticos permite generar modelos anatómicos por inyección, que proporcionan una enorme flexibilidad en la ejecución geométrica de las piezas óseas moldeadas. Esto supone un buen campo para la aplicación en la práctica de la docencia de la anatomía humana, así como la posibilidad de construir otras estructuras como prótesis que permitan sustituir, en un futuro, las tradicionales prótesis que se emplean para poder ser fabricadas de manera más personalizadas.

Los avances en impresión de tejidos van encaminados a poder disponer en un futuro cercano de órganos que se puedan implantar y que sean compatibles en los pacientes que necesiten un trasplante urgente (Huixia et al., 2010; Derby, 2012). La impresora Bioprinter, desarrollada por la compañía estadounidense *Organovo*, en colaboración con la australiana *Invetech*, permitirá reproducir tejidos y órganos gracias a

la multiplicación de sus células en impresoras 3D. Tension es otra empresa que recientemente ha presentado otro modelo de impresora *3D de órganos*.

Nuestros resultados han sido posibles gracias al esfuerzo conjunto que venimos desarrollando nuestra red de trabajo, en materia de investigación, diseño y desarrollo en favor de promover la incorporación de innovaciones a la producción industrial y la generación de aplicaciones no convencionales de las tecnologías de manufactura digital. En un futuro no muy lejano, la manufactura aditiva no dejará indiferente a ningún sector, porque implicará una nueva revolución industrial y tecnológica semejante a cuando apareció en nuestras vidas Internet, que ha cambiado nuestra forma de comunicarnos y de trabajar de una manera global. Por ello, la colaboración conjunta entre profesionales de la ingeniería industrial y de la medicina está contribuyendo al desarrollo de procedimientos útiles tanto para la formación médica como para la práctica clínico-quirúrgica, mejorando, así, la docencia, la salud y calidad de vida de las personas. Por ello, es destacable e importante fomentar que se lleven a cabo investigaciones conjuntas entre estos profesionales que lleven a una mejora en diversos procedimientos en el área de la salud.

Conclusiones

Las tecnologías de impresión 3D están experimentando un gran crecimiento y están ganando importancia en el campo biomédico.

El diseño en tres dimensiones de estructuras anatómicas corporales humanas puede ayudar a los alumnos a una mejor comprensión de los detalles morfológicos de las piezas anatómicas y son, además, un recurso duradero.

Aún queda mucho camino por recorrer en lo referente a esta tecnología de impresión 3D, pero son evidentes las grandes posibilidades que la impresión 3D ofrece al ámbito de la medicina. El avance de la ciencia y la propia técnica de impresión 3D descubrirán un futuro hasta ahora inimaginable. En un futuro no muy lejano, posiblemente, estas impresoras 3D superarán, con una gran diferencia los problemas que hoy día su pueda plantear su uso; y, sin duda, esta revolucionaria tecnología evolu-

cionará considerablemente en el campo de la medicina.

Bibliografía

- Anderson C. (2010). The new industrial revolution. *Wired magazine* 18, 2.
- Bagaria V, Deshpande S, Rasalkar DD, Kuthe A, Paunipagar BK (2011). Use of rapid prototyping and three-dimensional reconstruction modeling in the management of complex fractures. *Eur J Radiol*. 80(3), 814-820.
- Dardon U, Siquiera de Souza R, Terezinha C, Abranches S, Paglarello L. (2010). Modelagem 3D e suas aplicações na pesquisa paleontológica. *Gaea*. 6(2): 76-89.
- Derby B. (2012). Printing and Prototyping of Tissues and Scaffolds. *Science*. 338(6109):921-926.
- Diaz A, Lafont P. (2012). Rapid Prototyping for Biomedical Engineering: Current Capabilities and Challenges *Annu. Rev. Biomed. Eng.* 14:3-96.
- Drstvensek I, Ihan N, Strojnik T, Braljšič T, Valentin B, Pogacar V. (2008). Applications of Rapid Prototyping in Cranio-Maxillofacial Surgery Procedures. *Int J Biol Biomed Eng.* 1(2):29-38.
- Hieu LC, Bohez E, Vander Sloten J, Phien HN, Vatcharapom E, Binh PH, Oris P. (2003). Design for medical rapid prototyping of cranioplasty implants. *Rapid Prototyping Journal*. 9(3), 175-186.
- Huixia H, Junkai C, Dongsheng W, Bing G, Hong G, Hongchen L. (2010). Gene-Modified Stem Cells Combined with Rapid Prototyping Techniques: A Novel Strategy for Periodontal Regeneration. *Stem Cell Rev and Rep.* 6:137-41.
- Hurson C, Tansey A, O'donnchadha B, Nicholson P, Rice J, McElwain J. (2007). Rapid prototyping in the assessment, classification and preoperative planning of acetabular fractures. *Injury*. 38(10), 1158-1162.
- Mavili ME, Canter HI, Saglam-Aydinay B, Kamaci S, Kocadereli I. (2007). Use of three-dimensional medical modeling methods for precise planning of orthognathic surgery. *J Craniof Surg.* 18(4), 740-747.
- McGurk M, Amis AA, Potamianos P, Goodger NM. (1997). Rapid prototyping techniques for anatomical modelling in medicine. *Ann R Coll Surg Engl.* 79:169-74.
- Potamianos P, Amis AA, Forester AJ, McGurk M, Bircher M. (1998). Rapid prototyping for orthopaedic surgery. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part H: J Eng Med.* 212(5), 383-393.
- Suzuki M, Ogawa Y, Kawano A, Hagiwara A, Yamaguchi H, Ono H. (2004). Rapid prototyping of temporal bone for surgical training and medical education. *Acta oto-laryngologica.* 124(4), 400-402.
- Wagner J D, Baack B, Brown GA, Kelly J (2004). Rapid 3-dimensional prototyping for surgical repair of maxillofacial fractures: a technical note. *J Oral Maxil Surg.* 62(7), 898-901.
- Waran V, Devaraj P, Chandran T H, Muthusamy KA, Rathinam AK, Balakrishnan Y K, Rahman ZA (2012). Three-dimensional anatomical accuracy of cranial models created by rapid prototyping techniques validated using a neuronavigation station. *J Clin Neurosc.* 19(4), 574-577.
- Yih-Lin Ch, Yi-Tsung L, Kan-Shan S. (2012). Rapid Prototyping Mandible Model for Dental Implant Surgery Simulation. *Computer-Aided Design & Applications.* 9(2):177-85.
- Zhao L, Patel P K, Cohen M. (2012). Application of virtual surgical planning with computer assisted design and manufacturing technology to cranio-maxillofacial surgery. *Arch Plastic Surg.* 39(4), 309-316.



PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO



ANEXO VIII:

3D DIGITIZATION AND PROTOTYPING OF THE SKULL FOR PRACTICAL USE IN THE TEACHING OF HUMAN ANATOMY



PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO



PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO

Objetivos

Las nuevas técnicas de prototipado rápido, las impresoras 3D de bajo costo, así como la creación de nuevos softwares aplicados a estas técnicas, han permitido la creación de modelos 3D de estructuras óseas y su aplicación en el campo de anatomía de las facultades de Ciencias de la Salud. Las piezas óseas que hemos creado, a escala real de modelos óseos escaneados, presentan relieves y detalles anatómicos precisos y fácilmente identificables por los estudiantes de pregrado en su uso para el estudio de anatomía humana.

Metodología

Se procedió a la digitalización de precisión, sin contacto con el material óseo, mediante un láser escáner de brazo, modelo FaroArm Scan Platimun. Conseguimos unas nubes de puntos que representaron las piezas escaneadas con una precisión de + 35 μm . y una gran resolución.

La nube de puntos resultante de nuestro modelo estuvo compuesta por millones de puntos, referenciados a un sistema de coordenadas local, que representaron con exactitud geométrica y dimensional la estructura anatómica ósea a modelar. Esta nube de puntos contenía toda la información métrica necesaria del modelo óseo digitalizado, que sirvió para el procesamiento posterior con el software Geomagic Design X; de esta forma, el proceso de mallado por triangulación de puntos de escaneo nos permitió pasar, de un modelo 3D formado únicamente por puntos, a un modelo de malla constituido por pequeños planos poligonales. Esta malla se suavizó, se eliminó ruido y se optimizó para la fabricación aditiva. Finalizada la creación de la malla final se procedió a la generación del modelo en formato STL (STereo Lithography).

A partir de este modelo en formato STL se procedió a la fabricación aditiva (Additive Manufacturing) mediante la sucesiva superposición de capas micrométricas de un material polimérico. El software que empleamos fue "CURA" (de la casa comercial Ultimaker), que incorpora la impresora 3D Colido X 3045 que hemos empleado.

Para la creación de los modelos 3D se empleó el material PLA (Ácido Poli-Láctico) y la velocidad de impresión de 40 mm por segundo. Este material plástico termoestable, empleado en la impresión 3D, una vez que sufre el proceso de



PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO

calentamiento-fusión, solidifica por láminas dando lugar al modelo final. La dureza y resistencia de los modelos obtenidos son las adecuadas para su uso posterior.

Resultados

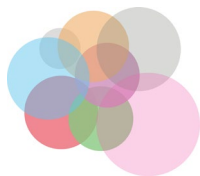
El modelo 3D del cráneo obtenido con nuestro trabajo presentó una buena definición de los detalles anatómicos fácilmente identificables y que los estudiantes de anatomía deben conocer.

Desde el punto de vista de la metodología el principal aporte fue crear modelos 3D del cráneo, a escala real de un cráneo adulto, que el estudiante puede manipular y emplear para identificar los detalles anatómicos; partiendo de imágenes escaneadas de las piezas óseas y con una técnica eficiente y fácilmente reproducible.

Conclusiones

El modelo 3D de cráneo obtenidos con la técnica de adición en impresoras 3D con tecnología FDM reproducen con gran fidelidad los detalles anatómicos que los estudiantes de anatomía deben conocer.

El rápido avance en el diseño de impresoras 3D cada vez más rápidas y precisas, así como los nuevos programas informáticos que facilitan su uso, hace pensar su implementación cada vez mayor en los campos de la industria, medicina y educación. Sin embargo, será el avance en la creación de nuevos materiales el mayor logro en un futuro próximo.



3D Digitization and Prototyping of the Skull for Practical Use in the Teaching of Human Anatomy

Maria Teresa Ugidos Lozano¹ · Fernando Blaya Haro² · Carlos Molino Diaz² ·
Sadiah Manzoor³ · Gonzalo Ferrer Ugidos⁴ · Juan Antonio Juanes Mendez¹

Received: 23 January 2017 / Accepted: 22 March 2017
© Springer Science+Business Media New York 2017

Abstract The creation of new rapid prototyping techniques, low cost 3D printers as well as the creation of new software for these techniques have allowed the creation of 3D models of bones making their application possible in the field of teaching anatomy in the faculties of Health Sciences. The 3D model of cranium created in the present work, at full scale, present accurate reliefs and anatomical details that are easily identifiable by undergraduate students in their use for the study of human anatomy. In this article, the process of scanning the skull and the subsequent treatment of these images with specific software until the generation of 3D model using 3D printer has been reported.

Keywords 3D printing · Teaching anatomy · Cranium · Rapid prototyping

Introduction

The study of human bone elements is part of the study program of the course of anatomy in the faculties of Health Sciences. The emergence of new technologies has allowed students to learn the anatomical details, not only with 2D images given in the atlas but using 3D models. These models

facilitate a real view of these bones and their relationship with the surrounding structures [1, 2]. The rapid development of these new technologies has also allowed access to the students by means of different technological means, facilitating the dissemination of information [2, 3].

Several studies have demonstrated that students obtained better results when the anatomical study of the bone elements was combined with direct observation of these bone pieces [4, 5]. The deterioration of these bone pieces by continued use, the difficulty in obtaining bone pieces for all students as well as the appearance of the 3D printers at an affordable price for the manufacturing of 3D bones models at full scale has led to the introduction of a new way of studying the anatomy [6, 7]. The emergence of 3D printers has allowed the creation of 3D models by the rapid prototyping technique, which allows the fabrication of three-dimensional structures starting from a Computer-Aided Design (CAD) and an additive manufacturing process [8].

In the present work, rapid prototyping technique has been used for the real-scale reproduction of human skull, using a 3D printer and printing materials to obtain bone models suitable for the use by anatomy students.

Materials and Methods

Precision scanning was carried out using a contactless laser scanner arm; model FaroArm Scan Platimun (Fig. 1). Point clouds was obtained that represented the bone pieces with great precision and reliability, and converted to a mesh format using special scanning software. Subsequently, through the process of repair and smoothing of the mesh, the final model was obtained for its subsequent 3D printing.

The FaroArm Scan Platimun scanner allowed capturing point clouds with a great performance of point

This article is part of the Topical Collection on *Education & Training*

✉ Maria Teresa Ugidos Lozano


¹ Universidad de Salamanca, Salamanca, Spain

² Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, Spain

³ Universidad Complutense de Madrid, Madrid, Spain

⁴ Universidad Europea de Madrid, Madrid, Spain

Published online: 06 April 2017

 Springer

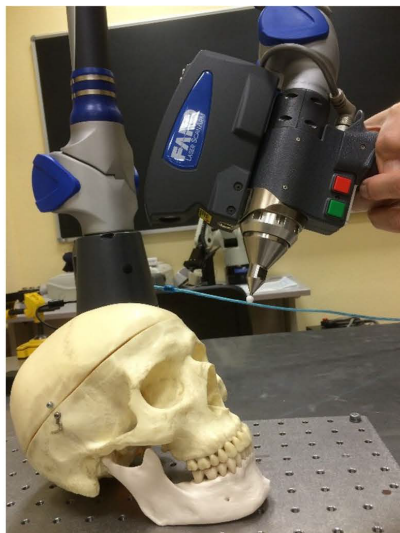


Fig. 1 Digitalization of a bone piece by FaroArm Scan Platinum

acquisition, at high resolution and a precision of $\pm 35 \mu\text{m}$. Thus, multiple point clouds were obtained in different positions, for posterior alignment and processing that consisted of millions of points, referenced to a local coordinate system, which represented to-be-modeled anatomical bone with high geometric and dimensional accuracy. This point cloud contained all necessary metric information of the digitized bone model, which was processed using Geomatic Design X. The meshing process by triangulation of scanned points allowed us to pass, from a 3D model formed only by

points, to a mesh model constituted by small polygonal planes. This Geomatic Design X supported the import of more than 60 formats and allowed combining CAD data with processed 3D scan data to create solid and editable models such as bone structures, specifically cranium, created in this work.

The methodology used to obtain the final mesh included: elimination of surface noise, correction of overlapping errors, closing of holes, smoothing of faces and optimization of the mesh for additive manufacturing. After the creation of the final mesh, the model was generated in Stereo Lithography (STL) format.

From this model in STL format, we proceeded to additive manufacturing through the successive superposition of micrometric layers of a polymeric material. The software used was "CURA" (Ultimaker trading house) allowed us to layer the 3D, according to an optimized configuration profile. These layers are stacked and the model was created automatically or introducing modifications carried out by mathematical calculations using the G-Code generation software and the information was transmitted to the printer to create the cranium (Fig. 2).

For the creation of 3D models, Poly-Lactic Acid (PLA) was employed and printing speed of 40 mm/s was used. This thermoset plastic material, once undergoes the heating-melting process, solidifies with layers resulting in the final model. The hardness and strength of the models obtained are adequate for later use. The machine used in the manufacture was a compact 3D printer branded Colido (model X3045) that integrated an extruder with exchanger of double filament to obtain models of high definition. The resolution of the layer was up to 0.1 mm and the diameter of extruder was 1.75 mm (Fig. 3).

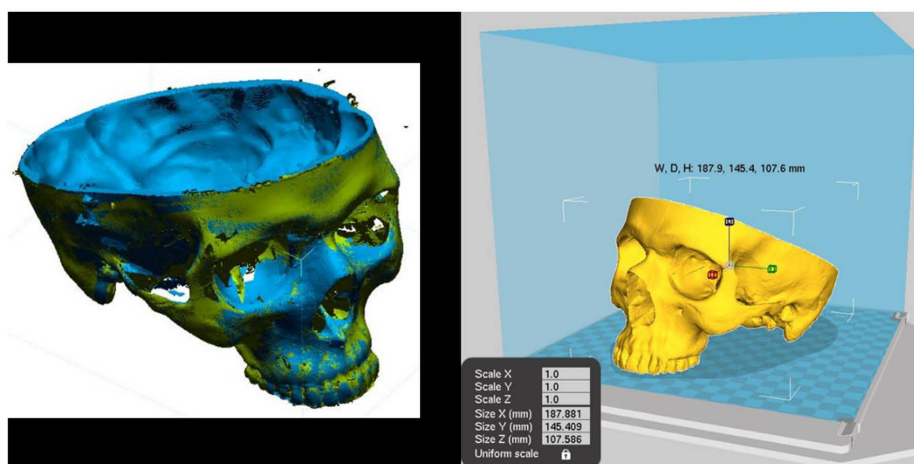


Fig. 2 Stepwise treatment of cranium using different software

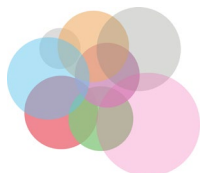


Fig. 3 Colido X3045 Printer

Results

The 3D model of the skull obtained in our work presents highly defined and easily identifiable anatomical details that the students of anatomy must know. This can be seen by anatomical details identified in the frontal plane, malar bone, orbits, nasal bones, maxillary and dental insertion. On the base of the skull, styloid processes of the temporal, posterior nasal spine, mastoid process and holes such as the foramen magnum, oval, carotid, jugular, thorny can be observed. Other anatomical details such as bone sutures that are separation between the different bones making up the skull are also identified. From the methodological point of view, the main contribution was to create 3D models of the skull, in real scale of an adult skull so that the students can manipulate and use to identify the anatomical details themselves.

The choice of the FaroArm Scam Platimun scanner allowed us to capture a point cloud with high precision and resolution. The subsequent treatment of this point cloud with the Geomagic Desing 3D allowed us to create mesh and eliminate noise to obtain full-scale designs of the initial model. The Repetier-Host software that was implemented in the 3D Colido X3045 printer transformed the 3D files into commands that were printed. The 3D model that we obtained after the choice of the means chosen for its manufacture, were of low cost, with a hardness and quality suitable for the study of anatomy (Fig. 4).

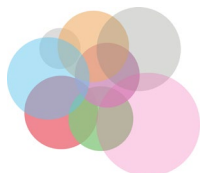


Fig. 4 3D Cranium Model

Discussion

The undergraduate students of the health sciences faculties need to acquire a broad anatomical knowledge for the further development of their works [9, 10]. Several studies have highlighted the importance of cadaver dissection for the study of human anatomy [6, 11]. According to other studies the best academic results are obtained by combining didactic studies and practical work with cadaveric bone material [9, 11].

The bones used in the study of anatomy, coming from corpses present a progressive deterioration by the continued handling by the students [12]. Despite this deterioration, it is still necessary to be able to identify the anatomical details [13]. The skull is one of the most complex structures at anatomical level with small reliefs and anatomical accidents that are very fragile and its deterioration is very fast [12]. The current difficulties in obtaining cadaveric bone material for the anatomical study has led to the use of new technologies as didactic support to provide an alternative means to deal with problem of deteriorated bone pieces [4, 14, 15]. The creation of 3D models for the study of anatomy became possible after the emergence of Rapid Prototyping technology in the 80's [16, 17]. With this technique, 3D models can be obtained from virtual models using Computerized Axial Tomography (CAT), Magnetic Resonance Imaging (MRI) or hand-held scanners. These images are then treated with Computer Assisted Manufacture (CAD/CAM) and are obtained on 3D axes [18]. There are several rapid prototyping techniques, among them the most commonly used are: [19, 20], 3D printing [20] and Fused Deposition Modeling (FDM) [17]. Some studies also report the errors that occur with this technique [21], however all of them are based on the principle of layer-by-layer addition of the material and represent the anatomical structure that was previously scanned [22]. In this study, various software have been employed, such as Cura software that allowed dividing the 3D model in a layer by layer manner following the profile and details of the model.



PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO

83 Page 4 of 5

J Med Syst (2017) 41:83

The manufacture of 3D printers at an affordable price has allowed the generalization of these 3D models [23]. At their outset, their use was introduced in industries [24], later in biomedicine including advances in biomaterials for their fabrication and employment in different specialties [25–27]. Several works have been published in this field, among them the use in traumatology, design of implants for replacement after trauma or diseases [28] repair of joint tissue [29], bone regeneration by tricalcium phosphate generated by 3D [30] and collagen [31], craniofacial reconstruction [32] and planning of surgical interventions [33–35] are worth-mentioning. In dentistry [36], such as periodontics [37, 38], preoperative guidance in tumors [39], oral and maxillofacial surgery [40, 41].

The use of 3D models in education also includes the training of students in anatomy [42–44]. In our work, we have created a 3D model of a full-scale skull for anatomy study of undergraduate medical students. The material we have used is PLA that provided models with suitable hardness so that the students can use them and models are obtained at an affordable price.

Conclusions

The 3D model of skull obtained using the addition manufacturing technique in 3D printing with FDM technology reproduce the anatomical details that the students of anatomy must know, with great accuracy and precision. The rapid advancement in the design of increasingly fast and accurate 3D printers as well as the new software that facilitates their use suggests the growing implementation of this technology in the fields of industry, medicine and education. However, the progress in the creation of new materials will be the greatest achievement in the near future.

Compliance with Ethical Standards

Informed consent Informed consent was obtained from all individual participants included in the study.

Conflict of interest There is no conflict of interest.

Ethical Approval This article does not contain any studies with human participants or animals performed by any of the authors.

References

1. Yammine, K., and Violato, C., A meta-analysis of the educational effectiveness of three-dimensional visualization technologies in

- teaching anatomy. *Anat. Sci. Educ.* 8:525–538, 2015. doi:10.1002/ase.1510.
2. Khot, Z., Quinlan, K., Norman, G. R., and Wainman, B., The relative effectiveness of computer-based and traditional resources for education in anatomy. *Anat. Sci. Educ.* 6: 211–215, 2013. doi:10.1002/ase.1355.
3. Cornwall, J., and Pollard, M. F., Evaluation of free i-applications for tertiary level gross anatomy education. *The Australasian Medical Journal* 5:239–242, 2012. doi:10.4066/AMJ.2012.1249.
4. Juanes, J. A., Hernández, D., Ruisoto, P., García, E., Villarrubia, G., and Prats, A., Augmented reality techniques, using mobile devices, for learning human anatomy. In: *Proceedings of the Second International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality* (pp. 7–11). ACM: New York, NY, 2014. doi:10.1145/2669711.2669870.
5. Turney, B., Anatomy in a modern medical curriculum. *Ann. R. Coll. Surg. Engl.* 89:104–107. doi:10.1308/003588407X168244 2007.
6. Biasutto, S. N., Ignacio Causa, L., and Esteban Criado del Río, L., Teaching anatomy: Cadavers vs. computers? *Annals of Anatomy - Anatomischer Anzeiger* 188:187–190, 2006. doi:10.1016/j.aanat.2005.07.007.
7. Baskaran, V., Štrkalj, G., Štrkalj, M., and Di Ieva, A., Current applications and future perspectives of the use of 3D printing in anatomical training and neurosurgery. *Front. Neuroanat.* 10, 2016. doi:10.3389/fnana.2016.00069.
8. McGurk, M., Amis, A. A., Potamianos, P., and Goodger, N. M., Rapid prototyping techniques for anatomical modelling in medicine. *Ann. R. Coll. Surg. Engl.* 79:169–174, 1997.
9. Collipal Larre, E., and Silva Mella, H., Estudio de la Anatomía en Cadáver y Modelos Anatómicos: Impresión de los Estudiantes. *Int. J. Morphol.* 29:1181–1185, 2011. doi:10.4067/S0717-95022011000400018.
10. Rodríguez Ruiz, H. M., Mendoza, D. Z. U., and Gualdrón, A. J., Conocimientos, sentidos y actitudes en relación con la anatomía en estudiantes de segundo año de Medicina. Universidad Nacional de Colombia. 2009. *Rev. Fac. Med.* 58:4, 2010.
11. Azer, S. A., and Eizenberg, N., Do we need dissection in an integrated problem-based learning medical course? Perceptions of first- and second-year students. *Surg. Radiol. Anat.* 29:173–180, 2007. doi:10.1007/s00276-007-0180-x.
12. Villarroel Guerra, M., and Medina Otazo, E., Técnica Anatómica para Restaurar y/o Reproducir Piezas Óseas Humanas de Dificil Obtención, para la Investigación y Docencia Científica. *Int. J. Morphol.* 29:532–536, 2011. doi:10.4067/S0717-95022011000200038.
13. Babinski, M. A., Sgrotti, E. A., Luz, H. P., Brasil, F. B., Chagas, M. A., and Abidu-Figueiredo, M., LA RELACIÓN DE LOS ESTUDIANTES CON EL CADÁVER EN EL ESTUDIO PRÁCTICO DE ANATOMÍA: LA REACCIÓN E INFLUENCIA EN EL APRENDIZAJE. *Int. J. Morphol.* 21:137–142, 2003. doi:10.4067/S0717-95022003000200007.
14. McLachlan, J. C., Bligh, J., Bradley, P., and Searle, J., Teaching anatomy without cadavers. *Med. Educ.* 38:418–424, 2004. doi:10.1046/j.1365-2923.2004.01795.x.
15. Brenton, H., Hernandez, J., Bello, F., Strutton, P., Purkayastha, S., Firth, T., and Darzi, A., Using multimedia and Web3D to enhance anatomy teaching. *Comput. Educ.* 49: 32–53, 2007. doi:10.1016/j.compedu.2005.06.005.
16. Petzold, R., Zeilhofer, H.-F., and Kalender, W. A., Rapid prototyping technology in medicine—basics and applications. *Comput. Med. Imaging Graph.* 23:277–284, 1999. doi:10.1016/S0895-6111(99)00025-7.
17. Petrovic, V., Gonzalez, J. V. H., Ferrando, O. J., Gordillo, J. D., Puchades, J. R. B., and Griñan, L. P., Additive layered manufacturing: Sectors of industrial application shown through case studies.



PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO

J Med Syst (2017) 41:83

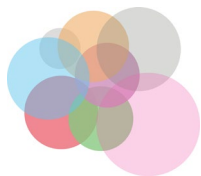
Page 5 of 5 83

- Int. J. Protein Res.* 49:1061–1079, 2011. doi:10.1080/00207540903479786.
18. Nogueira, B. A. P., Utilización del prototipado rápido en la odontología. *Revista Estomatológica Herediana* 25(2), 2016. Retrieved from <http://www.perurevista.com/index.php/estoma/article/view/3908>.
 19. Arcaute, K., Mann, B. K., and Wicker, R. B., Stereolithography of three-dimensional bioactive poly(Ethylene Glycol) constructs with encapsulated cells. *Ann. Biomed. Eng.* 34:1429–1441, 2006. doi:10.1007/s10439-006-9156-y.
 20. Cohen, A., Laviv, A., Berman, P., Nashef, R., and Abu-Tair, J., Mandibular reconstruction using stereolithographic 3-dimensional printing modeling technology. *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol. Oral Radiol. Endod.* 108:661–666, 2009. doi:10.1016/j.tripleo.2009.05.023.
 21. El-Katatny, I., Masood, S. h., and Morsi, Y. s., Error analysis of FDM fabricated medical replicas. *Rapid Prototyp. J.* 16:36–43, 2010. doi:10.1108/13552541011011695.
 22. Kondo, K., Nemoto, M., Masuda, H., Okonogi, S., Nomoto, J., Harada, N., Miyazaki, C., Anatomical reproducibility of a head model molded by a three-dimensional printer. *Neurol. Med. Chir.* 55:592–598, 2015. doi:10.2176/nmc.2014-0436.
 23. Berman, B., 3-D printing: The new industrial revolution. *Bus. Horiz.* 55:155–162, 2012. doi:10.1016/j.bushor.2011.11.003.
 24. Jose, R. R., Rodriguez, M. J., Dixon, T. A., Omenetto, F., and Kaplan, D. L., Evolution of bioinks and additive manufacturing technologies for 3D bioprinting. *ACS Biomater. Sci. Eng.*, 2016 doi:10.1021/acsbomaterials.6b00088.
 25. Wang, C., Tang, Z., Zhao, Y., Yao, R., Li, L., and Sun, W., Three-dimensional in vitro cancer models: A short review. *Biofabrication*, 6:022001, 2014. doi:10.1088/1758-5082/6/2/022001.
 26. Wu, W., Zheng, Q., Guo, X., and Huang, W., The controlled-releasing drug implant based on the three dimensional printing technology: Fabrication and properties of drug releasing in vivo. *Journal of Wuhan University of Technology-Mater. Sci. Ed.* 24:977, 2009. doi:10.1007/s11595-009-6977-1.
 27. Chia, H. N., and Wu, B. M., Recent advances in 3D printing of biomaterials. *Journal of Biological Engineering* 9:4, 2015. doi:10.1186/s13036-015-0001-4.
 28. Seitz, H., Rieder, W., Irsen, S., Leukers, B., and Tille, C., Three-dimensional printing of porous ceramic scaffolds for bone tissue engineering. *J. Biomed. Mater. Res. B Appl. Biomater.* 74B:782–788, 2005. doi:10.1002/jbm.b.30291.
 29. Sherwood, J. K., Riley, S. L., Palazzolo, R., Brown, S. C., Monkhouse, D. C., Coates, M., ... Ratcliffe, A., A three-dimensional osteochondral composite scaffold for articular cartilage repair. *Biomaterials* 23:4739–4751, 2002. doi:10.1016/S0142-9612(02)00223-5.
 30. Santos, C. F. L., Silva, A. P., Lopes, L., Pires, I., & Correia, I. J., Design and production of sintered β -tricalcium phosphate 3D scaffolds for bone tissue regeneration. *Mater. Sci. Eng. C* 32:1293–1298, 2012. doi:10.1016/j.msec.2012.04.010.
 31. Inzana, J. A., Olvera, D., Fuller, S. M., Kelly, J. P., Graeve, O. A., Schwarz, E. M., ... Awad, H. A., 3D printing of composite calcium phosphate and collagen scaffolds for bone regeneration. *Biomaterials* 35:4026–4034, 2014. doi:10.1016/j.biomaterials.2014.01.064.
 32. Visscher, D. O., Farré-Guasch, E., Helder, M. N., Gibbs, S., Forouzanfar, T., van Zuijlen, P. P., and Wolff, J., Advances in bioprinting technologies for craniofacial reconstruction. *Trends Biotechnol.* 34:700–710, 2016. doi:10.1016/j.tibtech.2016.04.001.
 33. Kurenov, S. N., Ionita, C., Sammons, D., and Demmy, T. L., Three-dimensional printing to facilitate anatomic study, device development, simulation, and planning in thoracic surgery. *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.* 149:973–979.e1, 2015. doi:10.1016/j.jtcvs.2014.12.059.
 34. Mulford, J. S., Babazadeh, S., and Mackay, N., Three-dimensional printing in orthopaedic surgery: Review of current and future applications. *ANZ J. Surg.* 2016. doi:10.1111/ans.13533.
 35. Marro, A., Bandukwala, T., and Mak, W., Three-dimensional printing and medical imaging: A review of the methods and applications. *Curr. Probl. Diagn. Radiol.* 45:2–9, 2016. doi:10.1067/j.cpradiol.2015.07.009.
 36. Alencar, B., Nogueira, P., Roque-Torres, G. D., Meneses-López, A., Bóscolo, F. N., Almeida, D., ... Groppo, F. C., Utilización del prototipado rápido en la odontología. *Revista Estomatológica Herediana*, 25:167–174, 2015.
 37. Lee, C. H., Hajibandeh, J., Suzuki, T., Fan, A., Shang, P., and Mao, J. J., Three-dimensional printed multiphase scaffolds for regeneration of periodontium complex. *Tissue Eng. Part A*, 20:1342–1351, (2013). doi:10.1089/ten.tea.2013.0386.
 38. Carter, S.-S. D., Costa, P. F., Vaquette, C., Ivanovski, S., Huttmacher, D. W., and Malda, J., Additive biomaterials: An advanced approach for periodontal tissue regeneration. *Ann. Biomed. Eng.* 45:12–22, 2017. doi:10.1007/s10439-016-1687-2.
 39. Darwood, A., Collier, J., Joshi, N., Grant, W. E., Sautet-Jackson, V., Richards, R., ... Kirkpatrick, N., Re-thinking 3D printing: A novel approach to guided facial contouring. *J. Cranio-Maxillofac. Surg.* 43:1256–1260, 2015. doi:10.1016/j.jcms.2015.06.001.
 40. Yu, H., Shen, S. G., Wang, X., Zhang, L., and Zhang, S., The indication and application of computer-assisted navigation in oral and maxillofacial surgery—Shanghai's experience based on 104 cases. *J. Cranio-Maxillofac. Surg.* 41:770–774, 2013. doi:10.1016/j.jcms.2013.01.016.
 41. Fahmy, M. D., Jazayeri, H. E., Razavi, M., Masri, R., and Tayebi, L., Three-dimensional bioprinting materials with potential application in preprosthetic surgery. *Journal of Prosthodontics* 25:310–318, 2016. doi:10.1111/jopr.12431.
 42. Pujol, S., Baldwin, M., Nassiri, J., Kikinis, R., and Shaffer, K., Using 3D modeling techniques to enhance teaching of difficult anatomical concepts. *Acad. Radiol.* 23:507–516, 2016. doi:10.1016/j.acra.2015.12.012.
 43. McMenamin, P. G., Quayle, M. R., McHenry, C. R., and Adams, J. W., The production of anatomical teaching resources using three-dimensional (3D) printing technology. *Anat. Sci. Educ.* 7:479–486, 2014. doi:10.1002/ase.1475.
 44. Lim, K. H. A., Loo, Z. Y., Goldie, S. J., Adams, J. W., and McMenamin, P. G., Use of 3D printed models in medical education: A randomized control trial comparing 3D prints versus cadaveric materials for learning external cardiac anatomy. *Anat. Sci. Educ.* 9:213–221, 2016. doi:10.1002/ase.1573.



PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO



PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO

ANEXO IX:

DIFFERENT DIGITALIZATION TECHNIQUES FOR 3D PRINTING OF ANATOMICAL PIECES



PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO



PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO

Objetivo

Crear modelos en tres dimensiones de piezas óseas para su uso por estudiantes de Anatomía de las diferentes titulaciones de Ciencias de la Salud, en la Universidad de Salamanca

Se escanean piezas óseas y mediante distintos softwares estas imágenes digitales son tratadas para que puedan ser leídas por una impresora 3D, en este caso marca Colido X 3045 y así crear modelos 3D a escala real.

Metodología

Los escáneres empleados para la digitalización de las piezas anatómicas han ido evolucionando y en este trabajo describimos algunos de ellos.

Escaner CT Aquileon 64 CFX

Este TAC (tomógrafo axial computarizado) consigue imágenes versátiles y de gran calidad con una menor radiación.

Con cada rotación, para nuestro trabajo, se adquieren 64 capas simultáneas de 0,5mm, proporcionando imágenes de tamaño real.

El tratamiento de las imágenes DICOM (Digital Imaging and Communication in Medicine) procedentes del escáner se realizó con el software 3DSlicer. Con este software alineamos y redimensionamos las imágenes para su homogenización. En nuestro trabajo de Tesis Doctoral obtuvimos imágenes isotrópicas con vóxels de 1mm, el mismo tamaño en todas las dimensiones.

Escáner de mano Artec Eva

Este escáner de mano permite obtener imágenes 3D de alta resolución.

Las características técnicas que aporta este escáner son las siguientes: Resolución de 0,5mm con una precisión de puntos de 0,1mm. La capacidad de procesamiento es de

4000000triángulos/1GB Ram. La velocidad de adquisición de datos es 2 millones de puntos por segundo y la resolución de texturas de 1,3mp.



PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO

El software que incorpora este escáner Artec Studio 3D, permitió que se integrase fácilmente con el programa asistido por ordenador (CAD) Geomagic Desing X 3D que empleamos en nuestro trabajo para el tratamiento de imágenes previa a la impresión 3D. Con este software se consiguió la formación de mallas. Estas mallas también fueron tratadas ajustando dimensiones, eliminando zonas dañadas para que la imagen obtenida tuviese mayor calidad. Tras finalizar el proceso de mallado se procedió a la creación del modelo en formato STL (stereoLithography) que posteriormente fue leído por la impresora 3D.

Para realizar el escaneo de la pieza fue necesario emplear una estación de trabajo y para ello se empleó un modelo portátil modelo Dell Latude E5440.

Modelo FaroArm Scan Platinum

Este escáner es un modelo de brazo que por su flexibilidad nos permitió una amplitud de movimientos para poder escanear todas las caras y huecos de la pieza sin contacto con esta. La resolución y alta precisión $\pm 35 \mu\text{m}$ nos permitió obtener un alto rendimiento en la adquisición de la nube de puntos que se referenció en un sistema de coordenadas y representó con gran exactitud la pieza.

Una vez obtenida la nube de puntos y su tratamiento, se trasladó al software Geomagic Design X y se procedió a la creación de la malla que se optimizó eliminando el ruido superficial, cerrando los agujeros, suavizando las caras para crear con posterioridad el modelo en formato STL que leyó la impresora 3D para la creación del modelo por fabricación aditiva.

Faro Edge Scan Arm HD

La precisión de este escáner es $\pm 35 \mu\text{m}$ ($\pm .0014\text{in.}$) y tiene un rango de escaneo hasta 45.120 puntos/segundo. La calidad de la nube de puntos que nos proporcionó es muy alta. Este escáner tiene la pieza de mano más pequeña del mercado, esto junto con la flexibilidad que aporta el brazo le confirió a este laser una gran aptitud tanto para el escaneo sin tocar la pieza o con palpado de esta. Esta nube de puntos se trató con el software Geomagic Design X, se creó la malla que tras su procesado se importó el formato STL que leyó la impresora 3D.



PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO

La impresora empleada es de la marca Colido X 3045. El software CURA de la casa Ultimaker que incorpora se empleó para optimizar la división en capas del modelo tridimensional y creó mediante fabricación aditiva los modelos 3D. Se empleó como material de impresión PLA (Ácido Poliláctico), este material confirió a los modelos 3D dureza y resistencia.

Resultados

La calidad de estos modelos 3D es cada vez es mayor, en parte debido a los materiales empleados, que son más semejantes a la pieza real y en parte a la adquisición de las imágenes mediante escáneres, con una técnica cada vez más avanzada.

La amplia difusión del empleo de escáneres, en diferentes ciencias, ha permitido el gran avance técnico de esos en muy corto espacio de tiempo. Su empleo no es solamente en el campo de Ciencias de la Salud sino también en otras actividades entre las que podemos señalar su uso en arquitectura, industria del automóvil, conservación del patrimonio y en otras áreas tecnológicas.

Estos modelos 3D se emplean tanto en la enseñanza de Anatomía para los estudiantes de pregrado como para la formación de los especialistas en la preparación de las cirugías.

Conclusiones

La evolución de los medios técnicos empleados para la creación de modelos tridimensionales permite, que cada vez, estos sean más parecidos a la imagen real y sea mayor su empleo en distintas ciencias.

Los escáneres empleados son cada vez más avanzados, mejorando la calidad de la imagen obtenida, así como, una mayor facilidad de manejarlos.

En el campo de la medicina los avances técnicos permiten un empleo de estos modelos 3D, no solo en las facultades, sino también, en las distintas especialidades de la profesión.



Different Digitalization Techniques for 3D Printing of Anatomical Pieces

M. T. Ugidos Lozano¹ · F. Blaya Haro² · Alessandro Ruggiero³ · S. Manzoor² · S. Nuere Menendez-Pidal² · J. A. Juanes Méndez¹

Received: 30 November 2017 / Accepted: 18 January 2018
© Springer Science+Business Media, LLC, part of Springer Nature 2018

Abstract

The use of different technological devices that allow the creation of three-dimensional models is in constant evolution, allowing a greater application of these technologies in different fields of health sciences and medical training. The equipment for digitalization is becoming increasingly sophisticated allowing obtaining three-dimensional which are more defined and similar to real image and original object. In this work, different modalities of designing 3D anatomical models of bone pieces are presented, for use by students of different disciplines in Health Sciences. To do this we digitalized bone pieces, with different models of scanners, producing images that can be transformed for 3D printing, with a Colido X 3045 printer by digital treatment with different software.

Keywords Teaching anatomy · 3D printing · Skull model · Additive manufacturing

Introduction

Teaching anatomy in the faculties of Health Sciences has undergone changes due to the incorporation of new technologies in their learning [1]. The creation of 3D models using 3D printers and their incorporation into teaching in recent years has allowed students have greater access to anatomical pieces for learning [2, 3]. 3D printers have allowed, in an accessible way economically and temporally, obtain physical objects starting from a digital object [4]. The appearance of different free access software, applied to the hardware, has allowed a greater diffusion of these 3D models. It has become possible not only to replicate an anatomical model but also to be able to study, copy, modify and distribute more identical copies of this model, thus allowing greater diffusion and access to this technology [5, 6]. The applications of 3D printing

are very varied from the printing of industrial parts [7] to their use in medical fields [8, 9].

The obtaining of these 3D models is preceded by processing of images created by scanners. Images were transformed into models using a software CAD (Computer Aid Design) and exported to .stl format for 3D printing. With a program for machine code generation, the trajectory of movement by layers and extrusion commands are created in GCode format, which is read by a software that allows the printer communicate with the image in the computer and following the instructions of the GCode initiate the movements to create 3D model [10].

The scanners used in creating the images of the real pieces are becoming increasingly advanced allowing more precise images. Before object scanning, factors such as the distance to be scanned, preparation of the anatomical piece and the position from which the images will be taken should be optimized. The captured images are processed including image alignment, noise elimination, removal of unwanted and null data and optimization of cloud points density for the selection of best points in order to create precise models [11–14]. In this work our objective was to present different modalities and techniques of digitalization of an anatomical image, using diverse scanning devices; with the purpose to achieve anatomical models by additive manufacturing using 3D printers to enable their subsequent use in medical training.

This article is part of the Topical Collection on *Education & Training*


✉ M. T. Ugidos Lozano
ugidosteresa@yahoo.es

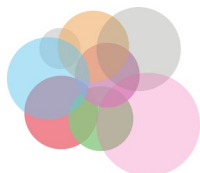
¹ Universidad de Salamanca, Salamanca, Spain

² Universidad Politecnica Madrid, Madrid, Spain

³ Università di Salerno, Fisciano, Italy

Published online: 25 January 2018

 Springer



Methodology

The 3D models obtained in this work, which will be used for the study of anatomy by Health Sciences students were previously scanned, using different scanners for digitalization and post-processing to obtain high quality models and database to generate layering codes for posterior 3D printing with an FDM printer (Colido X 3045). We will now describe different modalities of obtaining anatomical images using different scanning devices.

CT Aquileon 64 CFX scanner

A computed tomograph model Aquileon 64 CFX (Fig. 1) was employed as a first anatomical imaging system, allowing obtaining versatile and high quality sectional images. The relationship between the signal and noise determines image quality. With each rotation, 64 simultaneous layers of 0.5 mm are acquired, providing real-size images. A low resolution of contrast was employed in order to obtain a resolution superior than 35 mm for small details.

The creation of 3D models are preceded by processing of images from the scanner, in DICOM format (Digital Imaging and Communication in Medicine), with 3DSlicer software, which aligns and resizes the images for their homogenization. We obtained isotropic images with 1 mm voxels of same size in all dimensions. Posteriorly, the polygonal meshes were read by the layering software that generated the code required for 3D printer.

Artec Eva hand-scanner

Another modality of digitalization of bone pieces was through the use of handheld scanner, Artec Eva (Fig. 2), which allowed obtaining high resolution 3D images of scanned anatomical structures. The scanner provides 0.5 mm resolution with 0.1 mm dot accuracy, processing capacity of 4,000,000



Fig. 2 Hand scanner model Artec Eva used for the digitalization of bone pieces

triangles/GB Ram, data acquisition speed of 2 million points/s and 1.3 mp of texture resolution.

This scanner allows observing the anatomical model in real time while working in the incorporated fusion mode (Fig. 3) and also aligns the scanned data with great precision. The software that incorporates this Artec Studio 3D scanner is user-friendly and allows it to be easily integrated with the Systems Geomagic Desing X 3D computer-aided program. This software supports importing more than 60 formats and combination of data obtained with the scanner, which allows creating solid editable models. By digitalizing the object, a point cloud is obtained, posteriorly treating by Geomagic Desing X transforming the point cloud by triangulation into a polygonal planes mesh, which is treated by adjusting dimensions, eliminating damaged areas to obtain high quality image. After finishing the meshing process, we proceeded to create the model in STL format (stereoLithography) that passed to the layering program, CURA, in order to create the layering codes read by the 3D printer. For digital processing of scanned anatomical piece, Dell Latitude E5440 model notebook with the corresponding software was used as a workstation (Fig. 3).



Fig. 1 Aquileon 64 CFX computerized tomograph for scanning of anatomical parts



Fig. 3 Digitization of bone pieces with Artec Eva model hand scanner and graphic workstation



Fig. 4 Arm Scan Platinum model scanner digitalizing the jaw

Faro Arm Scan Platinum

Another technological procedure used for the digitalization of bone pieces was Faro Arm Scan Platinum (Fig. 4). It is characterized by its flexibility and precision, allowing an amplitude of movements to be able to digitalize all the faces of anatomical piece without making any contact with it at a performance of 14,000 points/s. The resolution and high precision of $+35 \mu\text{m}$ allows a high performance in the acquisition of point cloud referenced in a coordinate system, representing the anatomical piece with great accuracy.

The point cloud is then transferred to Geomatic Design X software (Fig. 5) which through a triangulation process, leads to the creation of mesh optimized by eliminating surface noise, closing holes, softening faces to create the model in STL format read by the 3D printer for generating the model by additive manufacturing.

Faro edge scan arm HD

The highest scanning accuracy was achieved with the Faro Edge Scan Arm HD scanner (Fig. 6), which presented high accuracy with a scan ranging up to 45,120 points/s. The quality of point cloud was much superior to that obtained by previous scanners. This device has the smallest hand-piece on the market, which offers great flexibility due to its arm and possess a great aptitude for contactless scanning of the piece and probing digitalization. Probing digitalization allows scanning the geometric areas or reference coordinates more accurately and precisely, scanning the areas that require the greatest number of points. This point cloud is treated with the Geomatic Design X software to create the mesh, which after processing is transformed into the STL format, so that it can be printed in 3D following the procedure mentioned previously.

CURA software (Ultimaker house) was employed (Fig. 7) to generate and optimize the code for division into layers to be read by 3D printer using the models obtained in *.stl format. The codes obtained in the data files *.gcode incorporates the trajectory for the deposition of fused material and its extrusion parameters for additive fabrication. The FFF (fused filament

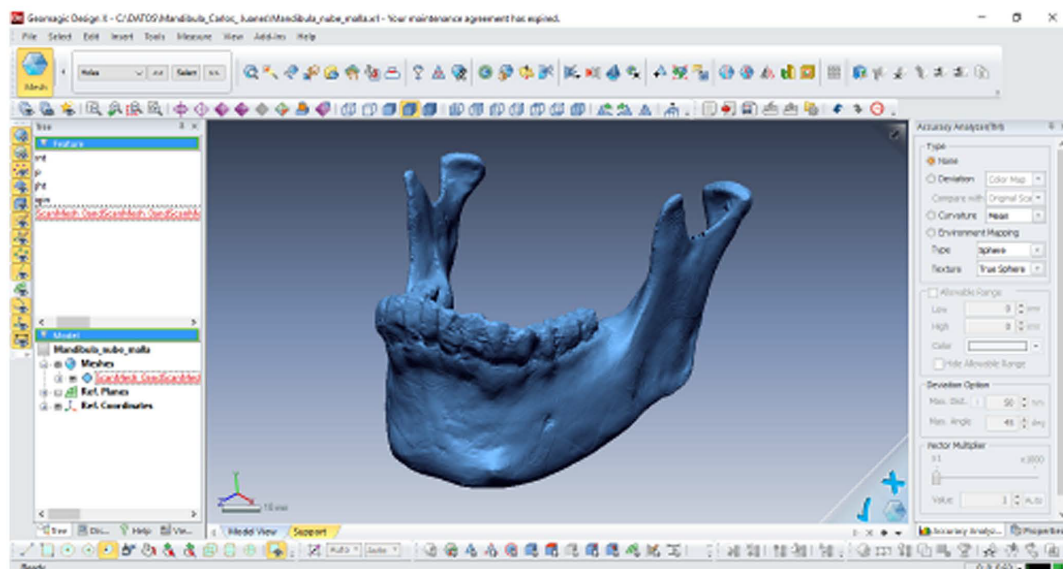


Fig. 5 Interface of the Geomatic Design X software that allows the treatment of the scanned image



Fig. 6 Faro Edge Scan Arm HD model arm scanner



Fig. 8 Printer model ColidoX 3045, used for our study

fabrication) printer used was the ColidoX 3045 model (Fig. 8).

PLA (Polylactic Acid), a biocompatible, recyclable and cost-effective material was used as printing material which gave the 3D model required hardness and strength suitable for use by anatomy students.

The characteristics of the imprinting profile for this material and the machine used are given in the Table 1.

Results

After 3D printing, different anatomical bone pieces have been able to assess and analyze different morphological details of the printed bones as a whole. The skull is usually a much deteriorated structure in medical schools laboratories. Therefore, in this work a 3D model has been created by employing additive manufacturing, presenting each detail of

the bone piece (Fig. 9). The high quality model will allow anatomy students use it for better learning (Fig. 10).

The reliability of the anatomical data provided by the scanners depends on two main values: resolution and accuracy. The resolution is determined by the amount of details that can be seen from the image and is characteristic of each scanner. The accuracy is measured for a specific sample and tells us to what extent the value taken is true. The arm scanners allowed greater mobility and approach to the piece during scanning, enabling greater optimization of the image and provide better point cloud. The Faro Edge Scan Arm HD scanner allowed both scanning modes, with and without contact with the piece, obtaining a high resolution and quality image.

Discussion

The 3D images allow the visualization of the organs and bone pieces, valuing spatial relationships with other neighboring body structures [15]. Likewise, the 3D anatomical models, obtained by means of 3D printers will facilitate the access of

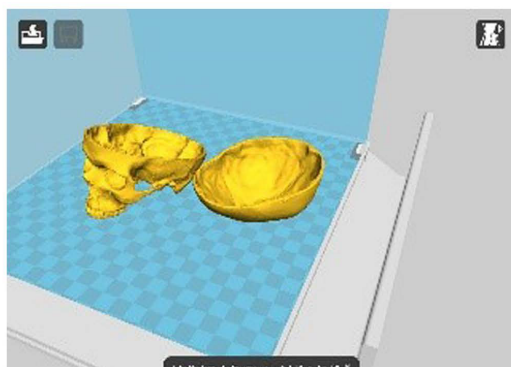


Fig. 7 CURA software interface to create STL formats

Table 1 Characteristics of printing profile

PLA material (diameter in mm)	1.75
Layer thickness (mm)	0.1
Extruder (mm)	0.4
Printing density (%)	25
Thickness perimeter of closure of each layer (mm)	1.6
Closure and base thickness (mm)	2.4
Temperature (°C)	213
Printing velocity (mm/s)	60

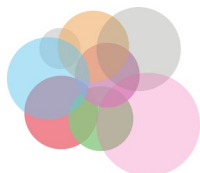


Fig. 9 3D model of the skull printed with polylactic acid (PLA)

the students to the complete osseous anatomical parts, thus supplying the details on the morphological deficiencies and deteriorations found in original structures, which in many cases are found in the anatomical departments [16]. The quality of these anatomical models printed in 3D, is increasing due to the materials used, which are more similar to the real piece and partly to the acquisition of images by means of very precise scanners with increasingly advanced techniques [17–22].

For teaching in faculties, its use has been disseminated in recent times, both in learning and allowing students access to these technologies [23]. In the field of medicine the use of 3D technologies is widespread, there are several fields in which they are useful in the preparation of surgical interventions as well as in the assessment of clinical pathologies [24–26]. In the teaching of anatomy along with using for the learning and training of undergraduate students [16] in the faculties of Health Sciences, these are also being employed in different

medical specialties, to mention an important one is surgery [27–29].

Conclusions

The evolution of the technological means used for the creation of 3D anatomical models, is allowing these devices to generate objects that are more and more similar to the real piece and its use in different disciplines of the health sciences is increasing. The different types of scanners used, for the digitization of anatomical parts and their subsequent 3D printing, have proved to be very effective for the achievement of objectives designed in this work, thus improving the quality of the anatomical parts that are used in the practices of teaching human anatomy in the educational centers; which undoubtedly results in a more productive teaching. Therefore, this joint collaboration between anatomists who know well the morphology of the body part and the industrial engineers, who dispose and handle the technological procedures and software necessary for their development, has led to constitute an excellent working model, for three-dimensional anatomical corporal creations, which are currently being extended to different medical specialties.

Compliance with ethical standards

Informed consent Informed consent was obtained from all individual participants included in the study.

Conflict of interest The authors declare that they have no conflict of interest.

Ethical approval This article does not contain any studies with human participants or animals performed by any of the authors.

References

1. Juanes, J.A., Hernández, D., Ruisoto, P., García, E., Villarrubia, G., and Prats, A., Augmented reality techniques, using mobile devices, for learning human anatomy. *Proceedings of the Second International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality*. New York, NY, USA: ACM, p. 7–11. <https://doi.org/10.1145/2669711.2669870>, 2014.
2. Lozano, M.T., Méndez, J.A., Díaz, C.M., Manzo, S., Ugidos, G.F., and Haro, F.B., Processing and additive manufacturing of bones for the teaching of human anatomy. *Proceedings of the Fourth International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality*. ACM, p. 533–536, 2016.
3. Pujol, S., Baldwin, M., Nassiri, J., Kikinis, R., and Shaffer, K., Using 3D modeling techniques to enhance teaching of difficult anatomical concepts. *Acad. Radiol.* 23:507–516, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.acra.2015.12.012>.
4. Guvendiren, M., Molde, J., Soares, R. M. D., and Kohn, J., Designing biomaterials for 3D printing. *ACS Biomater. Sci. Eng.* <https://doi.org/10.1021/acsbiomaterials.6b00121>, 2016.



Fig. 10 3D model of the jaw printed with polylactic acid (PLA), compared with a real piece



PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO

5. Szymor, P., Kozakiewicz, M., and Olszewski, R., Accuracy of open-source software segmentation and paper-based printed three-dimensional models. *J. Cranio-Maxillofac. Surg.* 44:202–209, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.jcms.2015.11.002>.
6. Park, J.W., Oh, S.A., Yea, J.W., and Kang, M.K., Fabrication of malleable three-dimensional-printed customized bolus using three-dimensional scanner. *PLoS One.* 12:e0177562, 2017. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0177562>.
7. Bostelman, R., Teizer, J., Ray, S.J., Agronin, M., and Albanese, D., Methods for improving visibility measurement standards of powered industrial vehicles. *Saf. Sci.* 62:257–270, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2013.08.020>.
8. Jose, R.R., Rodriguez, M.J., Dixon, T.A., Omenetto, F., and Kaplan, D.L., Evolution of Bioinks and additive manufacturing technologies for 3D bioprinting. *ACS Biomater Sci. Eng.* <https://doi.org/10.1021/acsbiomaterials.6b00088>, 2016.
9. B Jamayet, N., J Abdullah, Y., A Rajion, Z., Husein, A., and K Alam, M., New approach to 3D printing of facial prostheses using combination of open source software and conventional techniques: A case report. *Bull. Tokyo Dent. Coll.* 58:117–124, 2017. <https://doi.org/10.2209/tcdpublication.2016-0021>.
10. Acuna, F., Rivas, D., Chancusi, S., and Navarrete, P., Design and construction of a 3D printer auto controller wirelessly through of free software. *IEEE Lat. Am. Trans.* 13:1893–1898, 2015. <https://doi.org/10.1109/TLA.2015.7164214>.
11. Modabber, A., Peters, F., Kniha, K., Goloborodko, E., Ghassemi, A., Lethaus, B., et al., Evaluation of the accuracy of a mobile and a stationary system for three-dimensional facial scanning. *J. Cranio-Maxillofac. Surg.* 44:1719–1724, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.jcms.2016.08.008>.
12. Yeole, S., and Rajashekhar, S., Modeling of human humerus bone for 3D printing, 2015.
13. Guo, N., and Leu, M.C., Additive manufacturing: Technology, applications and research needs. *Front. Mech. Eng.* 8:215–243, 2013. <https://doi.org/10.1007/s11465-013-0248-8>.
14. Galantucci, L.M., Percoco, G., Angelelli, G., Lopez, C., Introna, F., Liuzzi, C., et al., Reverse engineering techniques applied to a human skull, for CAD 3D reconstruction and physical replication by rapid prototyping. *J. Med. Eng. Technol.* 30:102–111, 2006. <https://doi.org/10.1080/03091900500131714>.
15. Yang, Y., Liu, X., Xia, Y., Liu, X., Wu, W., Xiong, H., et al., Impact of spatial characteristics in the left stenotic coronary artery on the hemodynamics and visualization of 3D replica models. *Sci. Rep.* 7: 15452, 2017. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-15620-1>.
16. Murakami, T., Tajika, Y., Ueno, H., Awata, S., Hirasawa, S., Sugimoto, M., et al., An integrated teaching method of gross anatomy and computed tomography radiology. *Anat. Sci. Educ.* 7:438–449, 2014. <https://doi.org/10.1002/ase.1430>.
17. Murgitroyd, E., Madurska, M., Gonzalez, J., and Watson, A., 3D digital anatomy modelling – practical or pretty? *Surg.* 13:177–180, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.surge.2014.10.007>.
18. Zhang, Y., Ying, Z., Shen, Z., Nishino, T., and Chen, X., 3D laser scanning technology-based historic building mapping for historic preservation. *Int. Rev. Spat. Plann. Sustainable Dev.* 3:53–67, 2015. https://doi.org/10.14246/irspsd.3.2_53.
19. Sebastián, J.M.T., Escaneado en 3D y prototipado de piezas arqueológicas: Las nuevas tecnologías en el registro, conservación y difusión del Patrimonio Arqueológico. *Iberia Revista de la Antigüedad.* 8:135–158, 2013.
20. Corns, A., Deevy, A., Devlin, G., Kennedy, L., and Shaw, R., 3D-ICONS: Digitizing cultural heritage structures. *New Rev. Inf. Netw.* 20:59–65, 2015. <https://doi.org/10.1080/13614576.2015.1115232>.
21. Mukhtar, A., Xia, L., and Tang, T.B., Vehicle detection techniques for collision avoidance systems: A review. *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.* 16:2318–2338, 2015. <https://doi.org/10.1109/TITS.2015.2409109>.
22. Nguyen, L.V., La, H.M., Sanchez, J., and Vu, T., A smart shoe for building a real-time 3D map. *Autom. Constr.* 71:2–12, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.03.001>.
23. Groenendyk, M., and Gallant, R., 3D printing and scanning at the Dalhousie University Libraries: A pilot project. *Libr. Hi Tech.* 31: 34–41, 2013. <https://doi.org/10.1108/07378831311303912>.
24. Abudayyeh, I., Gordon, B., Ansari, M. M., Jutzy, K., Stoletniy, L., and Hilliard, A., A practical guide to cardiovascular 3D printing in clinical practice: Overview and examples. *J. Interv. Cardiol.* <https://doi.org/10.1111/joic.12446>, 2017.
25. Knoops, P.G.M., Biglino, G., Hughes, A.D., Parker, K.H., Xu, L., Schievano, S., et al., A mock circulatory system incorporating a compliant 3D-printed anatomical model to investigate pulmonary hemodynamics. *Artif. Organs.* 41:637–646, 2017. <https://doi.org/10.1111/aor.12809>.
26. Müller-Stich, B.P., Löb, N., Wald, D., Bruckner, T., Meinzer, H.-P., Kadmon, M., et al., Regular three-dimensional presentations improve in the identification of surgical liver anatomy—a randomized study. *BMC Med. Educ.* 13:131, 2013. <https://doi.org/10.1186/1472-6920-13-131>.
27. Cartiaux, O., Paul, L., Francq, B.G., Banse, X., and Docquier, P.-L., Improved accuracy with 3D planning and patient-specific instruments during simulated pelvic bone tumor surgery. *Ann. Biomed. Eng.* 42:205–213, 2014. <https://doi.org/10.1007/s10439-013-0890-7>.
28. Carrara, C.F.C., Ambrosio, E.C.P., Mello, B.Z.F., Jorge, P.K., Soares, S., Machado, M.A.A.M., et al., Three-dimensional evaluation of surgical techniques in neonates with orofacial cleft. *Ann. Maxillofac. Surg.* 6:246–250, 2016. <https://doi.org/10.4103/2231-0746.200350>.
29. Goel, A., Jankharia, B., Shah, A., and Sathe, P., Three-dimensional models: An emerging investigational revolution for craniovertebral junction surgery. *J. Neurosurg. Spine.* 25:740–744, 2016. <https://doi.org/10.3171/2016.4.SPINE151268>.



PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO

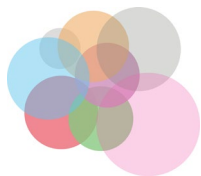


PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO

ANEXO X:

EVALUATION OF THE APPLICABILITY OF 3D MODELS AS PERCEIVED BY THE STUDENTS OF HEALTH SCIENCES



PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO



Objetivos

La fabricación de modelos 3D óseos intenta cubrir la escasez y deterioro de los restos óseos que se estaban utilizando por los estudiantes de Ciencias de la Salud. En nuestro trabajo fabricamos un modelo 3D de cráneo y mandíbula para valorar su utilidad, en el estudio anatómico óseo, dentro de las aulas de prácticas de la asignatura de anatomía, en las diferentes titulaciones de Ciencias de la Salud de la Universidad de Salamanca.

En este trabajo realizamos un estudio de intervención, cualitativo, prospectivo tras analizar los datos obtenidos mediante una encuesta a alumnos de 1 y 2 curso de las diferentes titulaciones de Ciencias de la salud de Salamanca. Con ello se pretende obtener información que valore si los modelos 3D de cráneo y mandíbula de nuestro trabajo son útiles como complemento didáctico en las aulas de Anatomía.

Metodología

Estudio de intervención, cualitativo, prospectivo, en estudiantes de 1º y 2º curso de Ciencias de la Salud de la Universidad de Salamanca. Se realizó una encuesta tipo Likert.

Los parámetros son evaluados siguiendo variables subjetivas son los siguientes:

1. Sexo
2. Consideración del uso de restos óseos en prácticas de Anatomía
3. Estado de conservación de los restos oses
4. Utilidad del material
5. Preferencia de uso en las prácticas

Se realizó un estudio estadístico interactivo de los datos obtenidos en nuestra encuesta mediante el programa estadístico, en su última versión de IBM SPSS 22.



Resultados

No existen diferencias significativas en la percepción de la calidad de los modelos comparados, y en el uso separado por sexos. Mujeres: 97%; Hombres: 98,1%, por lo que descartamos diferencias de percepción al respecto.

Los resultados detectan un mayor deterioro de las piezas de cerebro (93,2%) con respecto a otras piezas (huesos cortos, vértebras, tórax), siendo muy discreta la diferencia entre las restantes.

En la comparativa por las diferentes titulaciones se ha detectado un nivel similar de valoración del material docente. El nivel de satisfacción global y por facultades en el uso de 3D, es discretamente superior con respecto a restos óseos reales y con diferencia importante con el atlas de anatomía (2D).

La muestra empleada en nuestro estudio 280 alumnos de Ciencias de la Salud de Salamanca incluyen alumnos de cinco diferentes titulaciones: 116 de Medicina, 42 de Terapia Ocupacional, 42 de Fisioterapia, 56 de Enfermería y 24 de Odontología. Una muestra tan amplia y que incluyan alumnos de las cinco titulaciones, no hemos encontrado referencias bibliográficas previas, que recojan estudios estadísticos que valoren la satisfacción del alumno comparando restos óseos y modelos 3D.

Conclusiones

Las nuevas tecnologías se abren paso en la enseñanza de anatomía en los alumnos de las facultades de Ciencias de la Salud.

Los resultados de nuestro trabajo con la encuesta de satisfacción en estudiantes de anatomía nos hacen pensar que el uso de modelos 3D, pueden ser de utilidad en la enseñanza de anatomía, siendo un material con fácil disponibilidad, menor deterioro de uso y con buen nivel de calidad y aceptación por los estudiantes.

Se abre un nuevo campo de investigación para conseguir modelos 3D, cada vez más semejantes a las piezas óseas reales, en cuanto a los materiales y calidad de los modelos, para su posterior uso como material didáctico en las Facultades de Ciencias de la Salud.



Evaluation of the Applicability of 3d Models as Perceived by the Students of Health Sciences

M. T. Ugidos Lozano¹ · F. Blaya Haro² · Alessandro Ruggiero³ · S. Manzoor² · J. A. Juanes Méndez¹

Received: 7 January 2019 / Accepted: 6 March 2019
© Springer Science+Business Media, LLC, part of Springer Nature 2019

Abstract

The methodology and style of teaching anatomy in the faculties of Health Sciences is evolving due to the changes being introduced as a result of the application of new technologies. This brings a more positive attitude in the students, enabling an active participation during the lessons. One of these new technologies is the creation of 3D models that reliably recreates the anatomical details of real bone pieces and allow access of anatomy students to bone pieces that are not damaged and possess easily identifiable anatomical details. In our work, we have presented previously created 3D models of skull and jaw to the students of anatomy in the Faculties of Health Sciences of the University of Salamanca, Spain. The faculties included were odontology, medicine, occupational therapy nursing, health sciences and physiotherapy. A survey was carried out to assess the usefulness of these 3D models in the practical study of anatomy. The total number of students included in the survey was 280. The analysis of the results presents a positive evaluation about the use of 3D models by the students studying anatomy in different Faculties of Health Sciences.

Keywords 3D models · Bones · 3D printing · Teaching anatomy · Health sciences · Survey

Introduction

In this era of technological development, a rapid progress is being made for obtaining and disseminating the information leading to the emergence of new technologies that facilitate the students and teachers to access this information, thus generating a different approach at the university-level teaching [1–3]. Within the universities, the faculties of Health Sciences are incorporating these changes and designing new pedagogical supports for teaching these subjects [4–6]. Some of these innovations are clinical simulation and virtual learning, with Internet or multimedia materials that facilitate students' knowledge and skills in the clinical field in the most realistic environment, without affecting the integrity of

patients or involving corpses [7, 8]. These new technologies of providing information and enabling communication in the classrooms and student study time, allow greater access to information and a more interactive way of learning [9, 10].

The technical difficulties of teaching anatomy are partly diminished with the application of new technologies [11]. The change in the use of 2D images provided by the atlas to 3D and 4D images provides a better understanding of anatomical structures as well as looking into the fine details of these structures [12, 13]. During the last years there has been tremendous progress in the technology and as a result the virtual reality has become a part of these imaging technologies that can be applied to the teaching of anatomy, allowing the student to interact with the artificial environment that recreates a real situation, through devices such as helmets or gloves connected to a computer and allowing detection and understanding using the senses of touch, sight and hearing [14–16].

Another aspect of these new technologies is the manufacture of 3D bone models and their use in practical anatomy classes that try to cover the unavailability and deterioration of the bone remains that were being used previously by Health Sciences students [17–19]. In our work, we fabricated a 3D model of the skull and jaw to assess its usefulness in the anatomical study of bones in the lessons of anatomy and in the

This article is part of the Topical Collection on *Education & Training*


✉ M. T. Ugidos Lozano
ugidosteresa@gmail.com

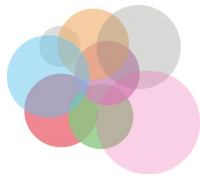
¹ Universidad de Salamanca, Salamanca, Spain

² Universidad Politécnica Madrid, Madrid, Spain

³ Università di Salerno, Fisciano, Italy

Published online: 19 March 2019

 Springer



PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO

108 Page 2 of 6

J Med Syst (2019) 43:108

faculties of Health Sciences from the University of Salamanca, Spain. The manufacture of these 3D models is increasingly affordable due to the lower cost of printers [20]. The field of 3D models printing is going through a fast evolution that allows making more accurate models that reflect the details as presented by the real objects [21–24].

Since these models are used by students for the learning of anatomy, it is very important to carry out a study on the assessment of the usefulness of these models by the students in their learning process. It is important to evaluate if the anatomical details of these models reflect the real bone pieces as well as assessing the conservation status of skeletal remains because the bone materials get deteriorated due to prolonged use.

The use and effectiveness of these technologies in the learning of anatomy needs to be evaluated by the students through a statistical model in qualitative and quantitative way. This study involves conducting a survey, including 280 students of first and second year of graduate degree from five faculties of health sciences from the University of Salamanca, Spain. These faculties included odontology, medicine, occupational therapy nursing, health sciences and physiotherapy. Through a set of questions and studying the responses, it was intended to assess the usefulness of the 3D printed models by the students and also comparing their use against the real bone samples in their learning process. We also evaluated the results based on the perception of using the 3D models based on the gender of the students. To the best of our knowledge, no studies have been found in the consulted bibliographic bases that collects such a high number of samples and includes a range of different faculties of Health Sciences.

Methodology

The survey has been based on an intervention study, qualitative and prospective in students of health sciences. The study by means of a survey, after using both 3D models and real bone pieces, was carried out in the anatomy laboratories. The 3D models used in this survey were manufactured in previous studies and the detailed description of the process can be found in M.T.Ugidos et.al. [19, 22]. The models were manufactured by additive manufacturing after computer processing using Geomagic Desing X 3D software of the images obtained by scanning the real bone pieces with FaroArm Scam Platinum model scanner at the Polytechnic University of Madrid. A Colido 3045 3D printer manufactured these 3D models using PLA (polylactic acid). Once these models were obtained, a survey of the students of the faculties of Health Sciences of the University of Salamanca and their opinion of the models against real skeletal remains was carried designed.

The survey included 280 students of five faculties of Health Sciences from the University of Salamanca, Spain, where 42

were from Physiotherapy, 116 from Medicine, 56 from Nursing, 42 from Occupational therapy and 24 from Dentistry. The type of scale we used is the Likert scale, which is an easy scale to build and allows measuring and knowing the degree of student's compliance in case of complex statements. On this scale, the answers are recorded from 1 to 5, where 1 stands for strongly agree, 2 for disagree, 3 for neutral, 4 for agree and 5 for strongly agree. The opinion of the participants was evaluated before and after the use of the 3D models of different bone pieces, handling 3 types of materials (real bones, 2D anatomy atlas and 3D printed models). The parameters that have been evaluated attribute to subjective variables were presented to the students in the form of Table 1.

An interactive statistical study of the data obtained in our survey was carried out through the statistical program, in its latest version of IBM SPSS 22.

Results

The response of the participants was analysed based on the parameters mentioned in Table 1. It was observed that there were more female students, as shown in Fig. 1a, therefore, it was considered necessary to evaluate the opinions classified by the gender of the participants. Fig. 1b shows an analysis on the responses of male and female participants in relation to their inclination towards the use of real bones and 3D printed models.

From the results it is clear that there were no significant differences in the perception of the quality of the compared models when separated by sexes. In case of women the results were 97% while for men it was 98.1%. Based on this analysis the contribution of gender in the preference and perception of use of either of the models was discarded. Therefore, the opinion from 280 students was analysed altogether to evaluate the level of their satisfaction in the use of 3D models with real bone pieces. Different skeletal structures including skull, small bones, vertebrae and thorax, in 3D printed material and original bone samples were provided to the participants including to observe the state of conservation and ability to

Table 1 Satisfaction survey of students

Parameters	1	2	3	4	5
Title					
1. Is it useful to incorporate real bones in practice sessions?					
2. Is the bone material in good condition?					
3. How helpful is it to use a real bone even if it is in worse shape?					
4. Do you prefer bones to study the anatomical features?					
5. Do you prefer 3D models of the bones to study anatomy?					

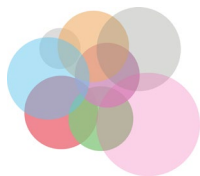
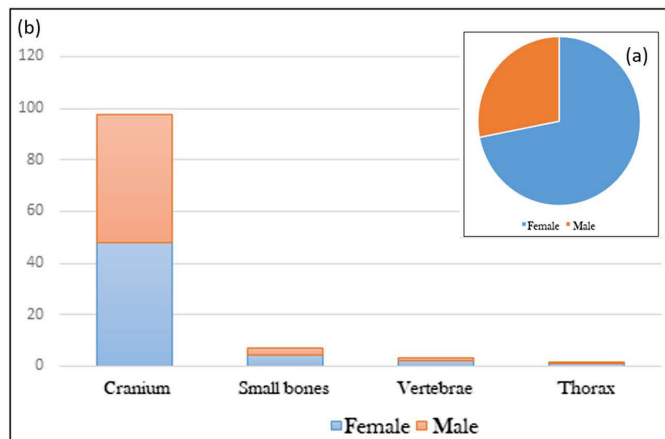


Fig. 1 (a) Proportion of participants based on the gender
(b) Assessment of the real bone pieces based on the gender of the participants



observe the fine anatomical details. The results can be seen in Fig. 2.

The results showed that there was a greater deterioration of the pieces of skull (93.2%) with respect to other pieces (short bones, vertebrae, thorax), with a very discreet difference between the remaining ones. Nevertheless, all the 3D models and bone pieces obtained a value of quality and satisfaction in similar way, having a very positive difference (4.3/5 Likert scale) in favour of the 3D model. The analysis of the responses showed that the participants gave more preference to the applicability of 3D models in contrast to the real bones.

Furthermore, a comparison was also made between the type of resources used in traditional anatomy teaching and

the 3D printed models created for the students. The sources presented to the students included 2D atlases, real bone pieces and printed 3D models. The results shown in Fig. 3 demonstrate a positive feedback for the use of 3D models in comparison to traditional items used.

In the comparison based on the faculties in health sciences (Fig. 4), a similar assessment of the teaching material has been detected.

The acceptance and satisfaction in the use of the 3D model exceeds a value of 4.85/5 on the Likert scale globally compared to the real model (4.71/5) on the Likert scale and the anatomy atlas (3.70/5) on the Likert scale, so we understand that there are no significant differences between the different

Fig. 2 Level of satisfaction on the use of 3D models versus real bone pieces obtained from the opinion of 280 participants

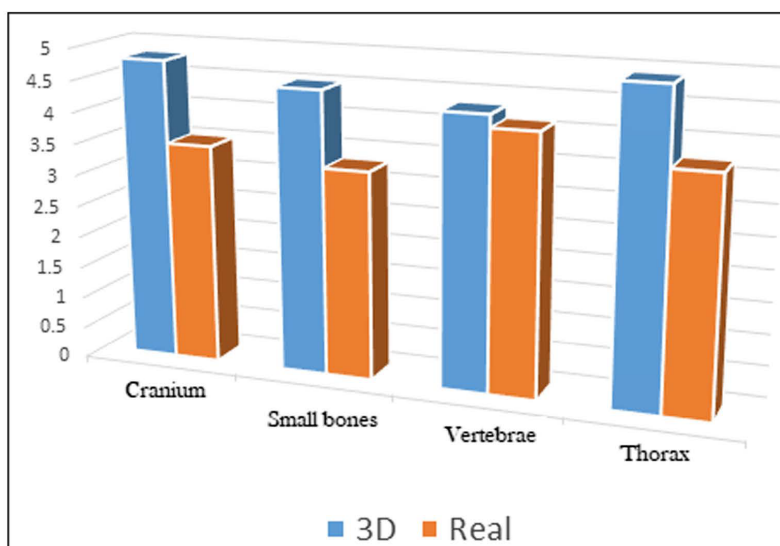
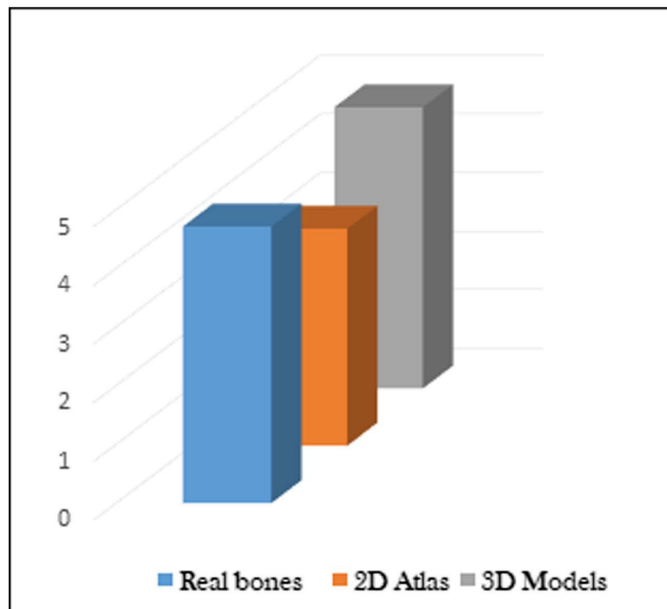




Fig. 3 Assessment based on the use of different resources used in the study of anatomy



types of studies with respect to the quality and satisfaction in their use. The general level of satisfaction and specific to faculties in the use of 3D, is discretely superior with respect to real skeletal remains and exhibiting important difference with the anatomy atlas (2D).

Discussion

The introduction of new methodologies such as mobiles and tablets is leading to an evolution in the style of teaching and learning of anatomy in the faculties of health sciences. To this

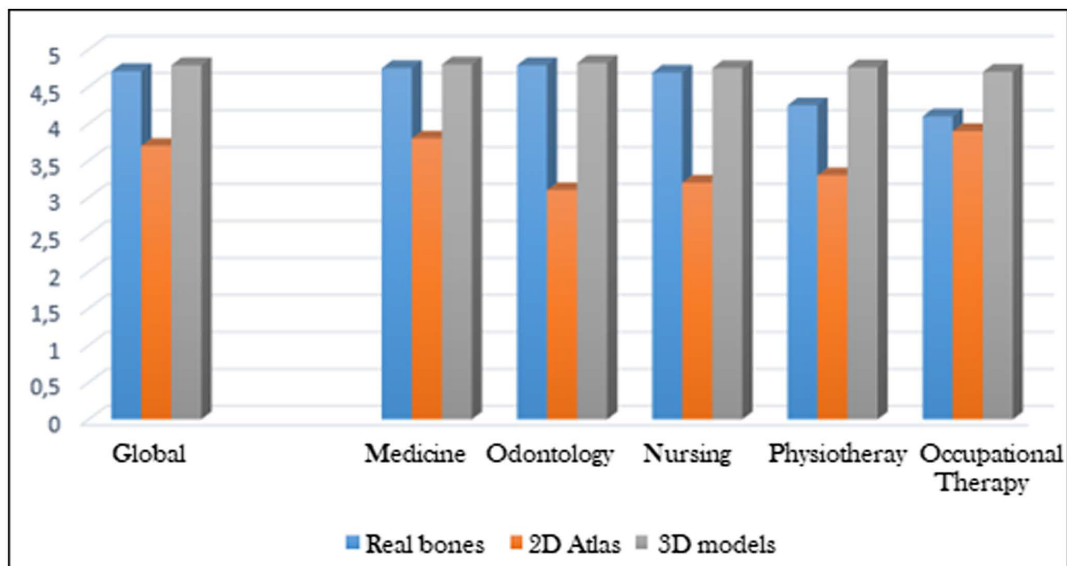
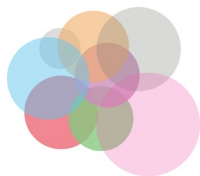


Fig. 4 Assessment based on the use of different resources according to different faculties of health Sciences in the study of anatomy



PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO

J Med Syst (2019) 43:108

Page 5 of 6 108

end, there has been inclusion of 3D printed models of the original bone pieces from the corpses, in the laboratories of the faculties of health sciences. The application of these models has resulted due to the difficulties in observing fine anatomical details associated with the deterioration caused by the prolonged use and excessive handling of real bone pieces. However, the use of 3D models in contrast to the original bones has raised a debate between the defenders of traditional methods relying on skeletal remains and those accepting the introduction new technologies such as mobile applications and 3D models [25–27]. 3D models provide advantages in being readily available and robust thus presenting less deterioration and more anatomical details whereas real bone pieces allow students to have a direct contact with the real pieces.

Since, students are at the learning end and these resources ultimately affect their knowledge and training, it is necessary to acquire their opinion about the use and effectiveness of 3D models in comparison with the traditional resources. Several publications support the incorporation of new technologies in the teaching of including the faculties of Health Sciences but we find fewer published studies that make an assessment by the students of these new technologies in their learning [18]. As mentioned before, it is necessary to assess the knowledge that students acquire with the use of both traditional models and the application of new pedagogical methods. Therefore, the main purpose of this study was carrying out a survey including 280 students from five different faculties of health sciences. The study is significant, firstly because the participants belonged to a wide range of departments and secondly to the best of our knowledge no bibliographical references has been found that focuses on collecting statistical studies that assess student satisfaction by comparing bone remains and 3D models [12, 28–30].

The results demonstrate that there are no significant differences between the perception between men and women for the use of 3D models and real bone pieces. Students graded 3D models with a positive feedback in all of the aspects studied in this survey. The teaching methods using real bones, Atlas and 3D models in different faculties also graded 3D models with more applicability. The survey shows that students of anatomy are open to new learning methods and these resources must be included in the laboratory settings.

Conclusions

New technologies are making their way into the teaching and learning of anatomy for the students of the faculties of Health Sciences. The results of our work with the survey including the anatomy students show that the use of 3D models can be useful in the teaching of anatomy, being a material with easy availability, less deterioration of use and with good level of

quality and acceptance by the students. The introduction of new technologies is bringing a positive change in the learning of students. Therefore, the combination of 3D models with the original bone pieces can be very advantageous. A new field of research is opened to obtain 3D models, increasingly similar to the real bone pieces, in terms of the materials and quality of the models, for later use as teaching material in the Faculties of Health Sciences.

Compliance with ethical standards

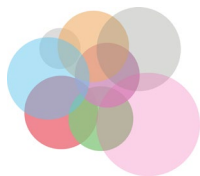
Informed consent Informed consent was obtained from all individual participants included in the study.

Conflict of interest The authors declare that they have no conflict of interest.

Ethical Approval This article does not contain any studies with human participants or animals performed by any of the authors.

References

1. Cañizares Luna, O. y Sarasa Muñoz, N. Algunas reflexiones acerca de los recursos para el aprendizaje de la disciplina Morfofisiología Humana. *Educación Médica Superior*, 21, 0-0 (2007).
2. Comaniciu, D., Engel, K., Georgescu, B., and y Mansi, T., Shaping the future through innovations: From medical imaging to precision medicine. *Medical Image Analysis* 33:19–26, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.media.2016.06.016>.
3. Inzunza, O., D'Acuña, E., and y Bravo, H., Evaluación práctica de anatomía. rendimiento de los alumnos de primer año de medicina ante distintas formas de preguntar. *International Journal of Morphology* 21:131–136, 2003. <https://doi.org/10.4067/S0717-95022003000200006>.
4. Fordis, M., King, J. E., Ballantyne, C. M., Jones, P. H., Schneider, K. H., Spann, S. J. et al., Comparison of the instructional efficacy of Internet-based CME with live interactive CME workshops: a randomized controlled trial. *JAMA* 294:1043–1051, 2005. <https://doi.org/10.1001/jama.294.9.1043>.
5. Collipal Larre, E., and y Silva Mella, H., Study of Anatomy in Cadavers and Anatomical Models: Impression of Students. *International Journal of Morphology* 29:1181–1185, 2011. <https://doi.org/10.4067/S0717-95022011000400018>.
6. Skeff, K. M., Stratos, G. A., and y Mount, J. F. S., Faculty development in medicine: A field in evolution. *Teaching and Teacher Education* 23:280–285, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.tate.2006.12.019>.
7. Parodi, V.A., The Digital Patient: Changing the Paradigm of Healthcare and Impacting Medical Research and Education. *The Digital Patient: Advancing Healthcare, Research, and Education*, John Wiley & Sons, Ltd. p. 273–88 (2016) <https://doi.org/10.1002/9781118952788.ch19>.
8. Hoyek, N., Collet, C., Rienzo, F. D., Almeida, M. D., and y Guillot, A., Effectiveness of three-dimensional digital animation in teaching human anatomy in an authentic classroom context. *Anatomical Sciences Education* 7:430–437, 2014. <https://doi.org/10.1002/ase.1446>.
9. Martín Galán, B., Galán, B. M., and y Mateos, D. R., La evaluación de la formación universitaria semipresencial y en línea en el contexto de los ees mediante el uso de los informes de actividad de

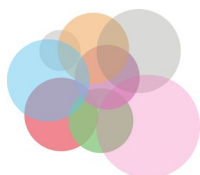


PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO

- la plataforma moodle. RIED Revista Iberoamericana de Educación a Distancia 15:159–178, 2012.
10. Juanes, J.A. y Ruisoto, P. Technological Advances and Teaching Innovation Applied to Health Science Education. *Proceedings of the First International Conference on Technological Ecosystem for Enhancing Multiculturality*, ACM, New York, NY, USA. p. 3–7 (2013) <https://doi.org/10.1145/2536536.2536537>
 11. Guiraldes, H., Oddó, H., Mena, B., Velasco, N., and y Paulos, J., Enseñanza de la anatomía humana: experiencias y desafíos en una escuela de medicina. *Revista chilena de anatomía* 19:205–212, 2001. <https://doi.org/10.4067/S0716-98682001000200013>.
 12. Estevez, M. E., Lindgren, K. A., and y Bergethon, P. R., A novel three-dimensional tool for teaching human neuroanatomy. *Anatomical Sciences Education* 3:309–317, 2010. <https://doi.org/10.1002/ase.186>.
 13. Hansen, M. M., Versatile, Immersive, Creative and Dynamic Virtual 3-D Healthcare Learning Environments: A Review of the Literature. *Journal of Medical Internet Research* 10, 2008. <https://doi.org/10.2196/jmir.1051>.
 14. Petersson, H., Sinkvist, D., Wang, C., and y Smedby, Ö., Web-based interactive 3D visualization as a tool for improved anatomy learning. *Anatomical Sciences Education* 2:61–68, 2009. <https://doi.org/10.1002/ase.76>.
 15. Juanes, J.A., Hernández, D., Ruisoto, P., García, E., Villarrubia, G. y Prats, A. Augmented Reality Techniques, Using Mobile Devices, for Learning Human Anatomy. *Proceedings of the Second International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality*, ACM, New York, NY, USA. p. 7–11 (2014) <https://doi.org/10.1145/2669711.2669870>
 16. Izard, S. G., Juanes, J. A., García Peñalvo, F. J., Estella, J. M. G., Ledesma, M. J. S., and y Ruisoto, P., Virtual Reality as an Educational and Training Tool for Medicine. *Journal of Medical Systems* 42:50, 2018. <https://doi.org/10.1007/s10916-018-0900-2>.
 17. Pujol, S., Baldwin, M., Nassiri, J., Kikinis, R., and y Shaffer, K., Using 3D Modeling Techniques to Enhance Teaching of Difficult Anatomical Concepts. *Academic Radiology* 23:507–516, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.acra.2015.12.012>.
 18. Briz-Ponce, L., Pereira, A., Carvalho, L., Juanes-Méndez, J. A., and y García-Peñalvo, F. J., Learning with mobile technologies – Students' behavior. *Computers in Human Behavior* 72:612–620, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2016.05.027>.
 19. Lozano, M. T. U., Haro, F. B., Díaz, C. M., Manzoor, S., Ugidos, G. F., and y Mendez, J. A. J., 3D Digitization and Prototyping of the Skull for Practical Use in the Teaching of Human Anatomy. *Journal of Medical Systems* 41:83, 2017. <https://doi.org/10.1007/s10916-017-0728-1>.
 20. Maschio, F., Pandya, M., and y Olszewski, R., Experimental Validation of Plastic Mandible Models Produced by a “Low-Cost” 3-Dimensional Fused Deposition Modeling Printer. *Medical Science Monitor : International Medical Journal of Experimental and Clinical Research* 22:943–957, 2016. <https://doi.org/10.12659/MSM.895656>.
 21. Shafiee, A., and y Atala, A., Printing Technologies for Medical Applications. *Trends in Molecular Medicine* 22:254–265, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.molmed.2016.01.003>.
 22. Ugidos Lozano, M.T., Juanes Méndez, J.A., Molino Díaz, C., Manzoor, S., Ferrer Ugidos, G. y Blaya Haro, F. Processing and additive manufacturing of bones for the teaching of human anatomy. *ACM International Conference Proceeding Series*, 533–536, (2016).
 23. Szymor, P., Kozakiewicz, M., and y Olszewski, R., Accuracy of open-source software segmentation and paper-based printed three-dimensional models. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery* 44: 202–209, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.jcms.2015.11.002>.
 24. Reid, J. A., Mollica, P. A., Johnson, G. D., Ogle, R. C., Bruno, R. D., and y Sachs, P. C., Accessible bioprinting: adaptation of a low-cost 3D-printer for precise cell placement and stem cell differentiation. *Biofabrication* 8:025017, 2016. <https://doi.org/10.1088/1758-5090/8/2/025017>.
 25. McLachlan, J. C., and y Patten, D., Anatomy teaching: ghosts of the past, present and future. *Medical Education* 40:243–253, 2006. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2929.2006.02401.x>.
 26. Inzunza, O., Caro, I., Mondragón, G., Baeza, F., Burdiles, Á., and y Salgado, G., Impresiones 3D, Nueva Tecnología que Apoya la Docencia Anatómica. *International Journal of Morphology* 33: 1176–1182, 2015. <https://doi.org/10.4067/S0717-95022015000300059>.
 27. Biasutto, S. N., Sharma, N., Weiglein, A. H., Benia, F. M., McBride, J., Bueno-López, J. L. et al., Human bodies to teach anatomy: importance and procurement: experience with cadaver donation. *Cuerpos humanos para la enseñanza de la Anatomía: Importancia y procuración: Experiencia con la donación de cadáveres*. *Revista Argentina de Anatomía Clínica* 6:72–86, 2016. <https://doi.org/10.31051/1852.8023.v6.n2.14127>.
 28. Chen, S., Pan, Z., Wu, Y., Gu, Z., Li, M., Liang, Z. et al., The role of three-dimensional printed models of skull in anatomy education: a randomized controlled trial. *Scientific Reports* 7:575, 2017. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-00647-1>.
 29. Davis, C. R., Bates, A. S., Ellis, H., and y Roberts, A. M., Human anatomy: let the students tell us how to teach. *Anatomical Sciences Education* 7:262–272, 2014. <https://doi.org/10.1002/ase.1424>.
 30. Jiménez López, M., García-Peñalvo, F.J., Ruisoto, P., González Izard, S., Juanes Méndez, J.A. y Pastor Vázquez, F. (2017) 360° vision applications for medical training.

Publisher's Note Springer Nature remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO

ANEXOS:

COMUNICACIONES A CONGRESOS INTERNACIONALES

ANEXO I:

- Conferencia:** 8th Annual International Conference on Education and New Learning Technologies. Barcelona. 4-6 July. 2016.
- Autores:** M.T. Ugidos Lozano; J.A. Juanes Méndez; F. Blaya Haro
- Título:** Designing of bone material with 3D printers: A support to study anatomy in Health Sciences. Example with jaw models.
- Publicación:** EDULEARN16 Proceedings pp: 7098-7106, **ISBN:**978-84-608-8860-4, **ISSN:** 2340-1117, **DOI:**[10.21125/edulearn.2016.0549](https://doi.org/10.21125/edulearn.2016.0549)

ANEXO II:

- Conferencia:** 4th International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality (TEEM'16). November 2nd - 4th, 2016, Salamanca
- Autores:** Maria Teresa Ugidos Lozano; Juan A. Juanes; Carlos Molino Diaz; Sadia Manzoor; Gonzalo Ferrer Ugidos; Fernando Blaya Haro
- Título:** Processesing and additive manufacturing of bones for the teaching human anatomy
- Publicación:** Proceedings TEEM16. pp: 533-536 The Association for Computing Machinery (ACM). 2016. New York 10121-0701. ISBN: 978-1-4503-4747-1. DOI: <http://dx.doi.org/10.1145/3012430.3012569>

ANEXO III:

- Conferencia:** Congresso Nacional de Investigaçao em Educaçao Medica. 19 Novembro, 2016. Covilhá. Portugal.
- Autores:** M.T. Ugidos Lozano, F. Blaya Haro, J.A. Juanes Méndez
- Título:** Creación de material óseo, mediante fabricación aditiva, como complemento y apoyo a la docencia de la Anatomía Humana.

ANEXO IV:

- Conferencia:** 11th Annual International Technology, Education and Development Conference. Valencia (Spain) 6th-8th of March 2017
- Autores:** M.T. Ugidos Lozano, F. Blaya Haro, J.A. Juanes Méndez.
- Título:** Fast scanning technology and 3D prototype of bones for teaching purpose.
- Publicación:** Published by IATED Academy Edited by L. Gómez Chova, A. López Martínez, I. Candel Torres. 2017 pp: 1610-1616. ISBN: 978-84-617-8491-2. ISSN: 2340-1079. Depósito Legal: V-369-2017



PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO

ANEXO V:

- Conferencia:** 5th International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality (TEEM'17). October 18- 20, Cádiz. 2017
- Autores:** M.T. Ugidos Lozano; F. Blaya Haro; Alessandro Ruggiero; J.A. Juanes Méndez.
- Título:** Systems of digitalization and processing of anatomical pieces for their three-dimensional reconstruction
- Publicación:** Proceedings of the 5th International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality. 2017. p. 1-5.
ISBN: 978-1-4503-5386-1
<https://doi.org/10.1145/3144826.3145402>

ANEXO VI:

- Conferencia:** 5th International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality (TEEM'18). October 24- 26, Salamanca. 2018
- Autores:** Maria Teresa Ugidos Lozano; Roberto D Amato; Alessandro Ruggiero, Sadia Manzoor, Juan A. Juanes Méndez.
- Título:** A study evaluating the level of satisfaction of the students of health sciences about the use of 3D printed bone models.
- Publicación:** Proceedings of the Sixth International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality October 2018 © 2018 ACM. Pages 368-372,
doi: <https://doi.org/10.1145/3284179.3284242>. ISBN 978-1-4503-6518-5.



PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO

ARTICULOS EN REVISTAS

ANEXO VII:

Juan Antonio Juanes Méndez, Fernando Blaya Haro, Maria Teresa Ugidos Lozano (2017). Contribution of industrial engineering in the development of bone materials for medical training. *Técnica Industrial*: 316: 36-40. (2017). DOI:10.23800/8824

ANEXO VIII:

Ugidos Lozano MT, Blaya Haro F; Molino Diaz C; Manzoor S; Ferrer Ugidos G; Juanes Mendez JA. 3D Digitization and Prototyping of the Skull for Practical Use in the Teaching of Human Anatomy. *Journal of Medical Systems* (2017) 41(5):83 doi: 10.1007/s10916-017-0728-1

ANEXO IX:

Ugidos Lozano MT, Blaya Haro F, Ruggiero A, Manzoor S, Nuere Menendez-Pidal S, Juanes Méndez JA. Different Digitalization Techniques for 3D Printing of Anatomical Pieces. *Journal of Medical Systems* (2018) 42(3):46. doi:10.1007/s10916-018-0903-z ISSN: 0148-5598. Springer US

ANEXO X:

Ugidos Lozano MT, Blaya Haro F; Ruggiero A, S. Manzoor S, Juanes Méndez JA. Evaluation of the Applicability of 3d Models as Perceived by the Students of Health Sciences. *Journal of Medical Systems* (2019) 43:108. pp:1-6. part of Springer Nature. <https://doi.org/10.1007/s10916-019-1238-0>. ISSN0148-5598